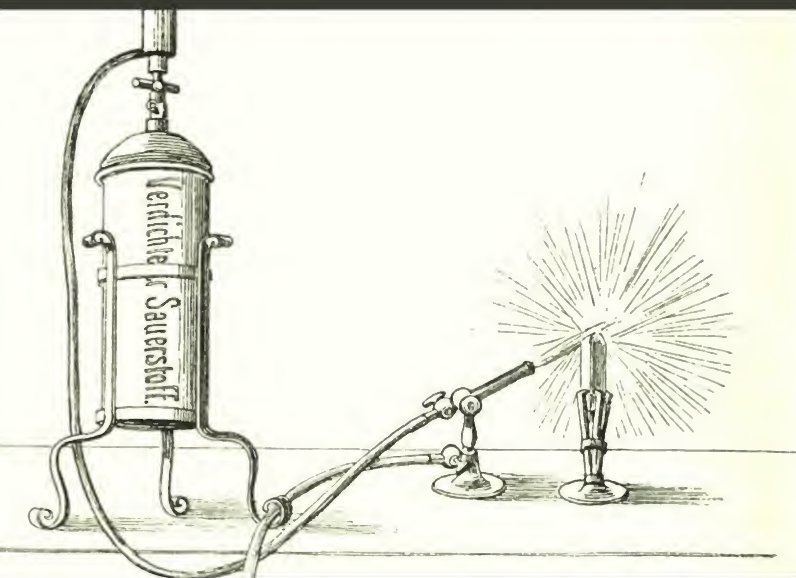


Luft, Wasser, Licht und Wärme

Reinhart Blochmann





Aus Natur und Geisteswelt.
Sammlung
wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.
5. Bändchen.

Luft, Wasser, Licht und Wärme.

Acht Vorträge aus dem Gebiete der

Experimental-Chemie

von

Prof. Dr. R. Blochmann.

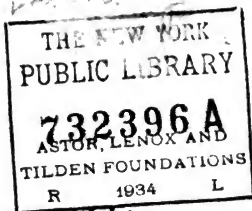
Mit zahlreichen Abbildungen.

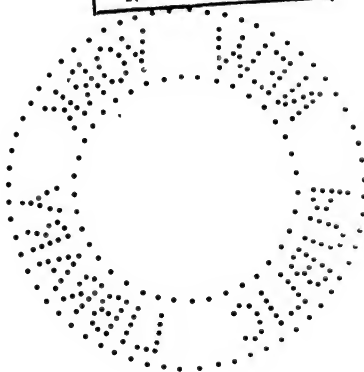


Leipzig,
Druck und Verlag von B. G. Teubner.
1899.

1, Chemistry — [illegible] manual

TD





Vorwort.

Die vorliegenden Vorträge sind im „Verein für fortbildende Vorträge zu Königsberg i. Pr." 1895 und 1897 gehalten worden. Dabei stand mir der große Hörsaal des Chemischen Universitäts-Laboratoriums zur Verfügung, dessen Einrichtungen nach Wunsch zu experimentieren gestatten. Von gemeinsam mit den Zuhörern beobachteten Erscheinungen gingen die Erörterungen aus und erweiterten sich allmählich, immer wieder durch Experimente erläutert und begründet.

Als vor einiger Zeit der geschätzte Teubnersche Verlag mit der Absicht, diese Vorträge der „Sammlung wissenschaftlicher, gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens" einzuverleiben, an mich herantrat, mußte ich mir die Frage vorlegen, ob es möglich sein würde, was ich meinen Zuhörern unmittelbar vor Augen führen konnte, durch Bild und Wort zu ersetzen. Durch das dankenswerte Entgegenkommen der Verlagshandlung, welche Abbildungen in uneingeschränktem Maße gewährte, wurde dieses Bedenken beseitigt. Die trefflich gelungenen Abbildungen, denen man fast auf jeder Seite begegnet, sind wohl geeignet, so weit dies bildliche Darstellungen überhaupt ermöglichen, die Erscheinungen des Experimentes zum Ausdruck zu bringen.

Königsberg i. Pr., im März 1899.

R. Blochmann.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung.

Aufgabe der Chemie. Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen . . . 1
Eigenschaften der festen, flüssigen u. gasförmigen Körper . . . 3
Besondere Eigenschaften der Gase und Unterscheidung derselben . . . 8
Physikalische Vorgänge beim Zusammentreffen von Gasen, flüssigen und festen Körpern . . . 11
Chemische Einwirkungen von Gasen, flüssigen und festen Körpern aufeinander . . . 13
Umwandlung eines Metalls in verschiedene Verbindungen und Wiederabscheidung desselben. Chemie u. Alchemie . . . 18
Alle irdischen Körper bestehen aus Grundstoffen oder Elementen. Vorkommen derselben auf der Sonne . . . 20

II. Die Luft.

Falsche Ziele der Chemie. Verfolgung chemischer Vorgänge mit der Wage seit Ende des 18. Jahrhunderts . . . 22
Einwirkung der Luft auf Kupfer, Eisen und Quecksilber . . . 24
Zerlegung des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff . . . 26
Die Luft enthält Sauerstoff und Stickstoff . . . 29
Die Luft ist keine chemische Verbindung . . . 32
Die Luft enthält Wasserdampf und Kohlensäure . . . 34

Seite

Weitere Bestandteile der Luft: Salpetersäure, Ammoniak u. Ozon — Argon u. Helium — (Sonnenstäubchen und Bakterien) . . . 37
Masse der Atmosphäre. Gleichbleibende Zusammensetzung der Luft . . . 39

III. Das Wasser.

Die Änderung des Aggregatzustandes des Wassers. Mechanische Wirkungen beim Gefrieren . . . 41
Destilliertes Wasser. Meer-, Brunnen-, Regenwasser. — Kreislauf des Wassers in der Natur . . . 46
Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (Knallgas) . . . 49
Das Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff . . . 51
Zersetzung des Wassers durch Kalium und Natrium . . . 56
Darstellung, Eigenschaften und Vorkommen des Wasserstoffs. Bedeutung des Wassers für die Vorgänge in der Natur . . . 58

IV. Kohlensäure.

Darstellung und Eigenschaften . . . 61
Flüssige und feste Kohlensäure . . . 65
Abscheidung von Kohlenstoff aus Kohlensäure durch Kalium . . . 71
Entstehung der Kohlensäure aus Kohlenstoff und Sauerstoff . . . 72

Seite

Anderweitige kohlenstoffhaltige Gase. Eigenschaften des Kohlenstoffs. Bei der Verbrennung eines Diamanten entsteht nur Kohlensäure, der Diamant ist daher Kohlenstoff 74
Was ist Verbrennung? . . . 75

V. Der Verbrennungsprozeß.

Jede Verbrennung ist an drei Bedingungen geknüpft. Entzündungstemperatur . . . 77
Die Kerzenflamme (Petroleum- und Leuchtgasflamme). Ursache des Leuchtens der Flamme 79
Entleuchten der Flamme. Komprimierter Sauerstoff. Verbrennen von Eisen. Drummondsches Kalklicht . . . 85
Der Bunsen-Brenner. Verwendung des Leuchtgases zum Kochen und Heizen . 89
Momentane Verbrennung oder Explosion 93
Die Davysche Sicherheitslampe 97
Ursachen des Verlöschens des Feuers. 98

VI. Die unvollständige Verbrennung.

Das Rußen der Lampen u. das Rauchen der Schornsteine . 99
Einwirkung der Hitze auf Steinkohlen bei Abschluß von Luft (Leuchtgasbereitung) . . . 100
Kohlendunst und Kohlenoxyd 103
Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht Kohlensäure. Zusammensetzung des Kohlenoxyds u. der Kohlensäure. Chemische Zeichen u. Formeln. (Atomgewicht) . 105

Seite

VII. Arbeit. — Wärme. — Licht.

Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit. Das Thermometer u. die Wärmeeinheit. Mechanisches Wärmeäquivalent . 109
Wärme- u. Lichtstrahlen. Umwandlung von Wärme in Licht. Incandescenzbeleuchtung. Auersches Glühlicht 113
Weißes und farbiges Licht. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma (Spektralanalyse.) Die Fraunhoferschen Linien vermitteln den Nachweis irdischer Grundstoffe auf der Sonne. (Helium) 117

VIII. Die langsame Verbrennung.

Das Rosten des Eisens ist eine langsame Verbrennung . . 123
Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs (Molekel und Atom) 124
Übergang einer langsamen Verbrennung in eine Verbrennung mit Feuererscheinung. Irrlichter. Selbstverbrennung bei lebendigem Leibe 127
Zusammensetzung des menschlichen Körpers und der Nahrungsmittel. Kohlensäure ist ein Produkt des Stoffwechsels. Beschaffenheit der ausgeatmeten Luft 129
Kreislauf der Kohlensäure in der Natur 132
Die Aristotelische Naturanschauung und die exakte Experimentalforschung . . . 135
Die Grundstoffe oder Elemente, ihre Zeichen u. Atomgewichte 137

I. Einleitung.

Aufgabe der Chemie. Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen. Feste, flüssige und gasförmige Körper. Besondere Eigenschaften der Gase und Unterscheidung derselben. Physikalische Erscheinungen beim Zusammentreffen von Gasen, flüssigen und festen Körpern. Chemische Einwirkungen von Gasen, flüssigen und festen Körper aufeinander. Umwandlung eines Metalls in verschiedene Verbindungen und Wiederabscheidung desselben. Chemie und Alchemie. Unzerlegbare Körper. Alle irdischen Körper bestehen aus Grundstoffen oder Elementen. Vorkommen derselben auf der Sonne.

Aufgabe der Chemie. Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen.

Die Aufgabe der Chemie, meine Damen und Herren, ist, zu lehren: wie die Körper zusammengesetzt sind, daß alle Körper, die wir kennen, aus einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Grundstoffen bestehen und wie aus diesen elementaren Bestandteilen die Körperwelt sich aufbaut, nicht regellos, sondern nach bestimmten, unwandelbaren Gesetzen.

Ob und wie verschiedene Körper aufeinander einwirken, lehrt der Versuch. Durch Aneinanderreihen zielbewußter Experimente, durch genaue Beobachtung der dabei auftretenden Erscheinungen ist die Grundlage, auf der unser Wissen beruht, erhalten worden. Aus vielen Beobachtungen gewonnene Erfahrungen wurden zusammengefaßt und führten zur Erkenntnis der Gesetze, welche die tote und lebendige Natur beherrschen.

Unsere Kenntnis stützt sich also auf den Versuch, folgerichtig stellen wir somit den in das Gebiet der Chemie Einzuführenden sogleich vor das Experiment.

Die Erscheinungen, welche wir bei unseren Versuchen beobachten werden, sind sehr mannigfacher Art. Immer treten auch Erscheinungen auf, die wir nicht als chemische, sondern als physikalische zu bezeichnen haben.

Wenn ich diesen Draht, der aus einem edlen Metall — man hat es Platin genannt — hergestellt ist, der Hitze einer Flamme aussetze (Fig. 1), so erglüht er. Entferne ich den Draht aus der Flamme, so hört er zu glühen auf. Erhitzen wir ihn von neuem, so erglüht er wieder. Wir können also den Versuch mit ein und demselben Stück Platin so oft wiederholen, als wir wollen. Das Erglühen des Platins ist ein physikalischer Vorgang; es findet hierbei keine dauernde Änderung des Platins statt.

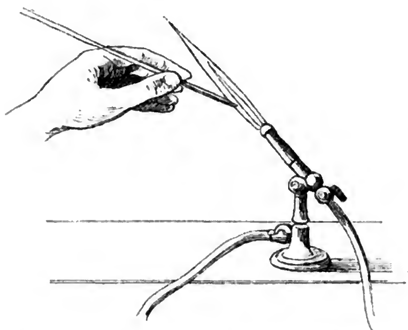


Fig. 1. Der Platindraht erglüht in der Flamme. (Physikalischer Vorgang.)

Hier habe ich ein anderes Metall, etwas Zinn, dünn ausgewalzt, wie wir es Stanniol nennen. Bringe ich den zusammengerollten Stanniolstreifen in dieselbe sehr heiße Flamme, so ist die Erscheinung eine ganz andere (Fig. 2). Unter Funkensprühen verschwindet das Metall, es verbrennt, wie wir sagen. Das Zinn wird hierbei in eine grauweiße Asche verwandelt, die auf den Tisch herabfällt. Diese Zinnasche zeigt nicht wieder dieselbe Erscheinung, wenn wir sie sammeln und von neuem in die Flamme bringen, sie besitzt keinen Metallglanz, sie hat ganz andere Eigenschaften als das Zinn. Bei diesem Versuche fand ein chemischer Vorgang

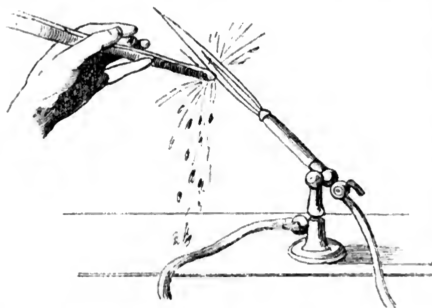


Fig. 2. Der Stanniolstreifen verbrennt in der Flamme. (Physikalischer Vorgang.)

statt. Wir können den Versuch — und das ist das Charakteristische — mit einer gegebenen Menge Zinn nur einmal anstellen.

Ziehen wir den Schluß aus den beiden Versuchen, so kommen wir zu dem Ergebnis: physikalische Veränderungen eines Körpers können wir mit ein und derselben Substanzmenge beliebig oft, chemische Veränderungen nur einmal herbeiführen. Wir haben hiermit einen Prüfstein gewonnen, um zu entscheiden, ob ein Vorgang, den wir beobachten, ein chemischer oder ein physikalischer ist.

Würden wir einen Bleidraht in die Flamme halten, so würde er schmelzen. Den erstarrten Bleitropfen können wir durch Hämmern, oder auf andere Weise wieder in Drahtform bringen und dann den Versuch wiederholen. Wenn Blei schmilzt, findet somit ein physikalischer Vorgang statt. Anders ist es, wenn ein Stück Papier oder Holz verbrennt, wenn das Eisen rostet, wenn ein Apfel fault; derartige Veränderungen erleiden die Körper nur einmal, es sind chemische.

Wenn Wasser zu Eis friert und das Eis wieder auftaut, wenn das Wasser verdampft, wenn sich der Wasserdampf an dem Deckel der Theekanne wieder zu Tropfen verdichtet, so sind dies physikalische Vorgänge, die wir beobachten. Die chemische Natur des Wassers wird hierbei nicht verändert, und dennoch erscheinen Wasser, Eis und Wasserdampf unseren Sinnen ganz verschieden.

Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper.

Eis, Wasser und Wasserdampf repräsentieren die drei Formen der Materie, die der Physiker Aggregatzustände nennt, den Zustand des Festen, des Flüssigen und des Gasförmigen.

Das Eis läßt sich zerschlagen, sägen, durchbohren, wie andere feste Körper. Zerteilt man einen festen Körper, so behalten die einzelnen Teile die ursprünglichen Eigenschaften des Ganzen. Auch das kleinere und kleinste Stück Zucker schmeckt süß. Wenn wir einen festen Körper zerschlagen, so ist eine gewisse Kraft nötig, um die kleineren Teilchen, die wir erhalten, aus ihrer ursprünglichen, starren Lage zu bringen, in welcher sie sich vordem befanden, eine bestimmte Form des

ganzen Stückes bedingend. Diese Form kann eine regelmäßige sein, wie sie der Bergkristall zeigt, oder eine zufällige, wie das Kreidestück, das ich in der Hand habe. Wie dem aber auch sei, jeder feste Körper hat eine ihm eigentümliche Form, und wohin wir ihn auch bringen: überall füllt er einen gleich großen Raum in der seiner Form entsprechenden Weise aus. Diese Eigentümlichkeit der selbständigen Gestalt und selbständigen Raumerfüllung, welche den festen Körpern zukommt, macht es unmöglich, den Stein, der hier vor uns liegt (*A*, Fig. 3), in die daneben stehende Flasche *B* zu bringen, in der er offenbar Platz hätte. Weil der feste Körper auch nicht für einen Augenblick seine Form ändert, läßt er sich nicht durch den Hals in die Flasche schieben.

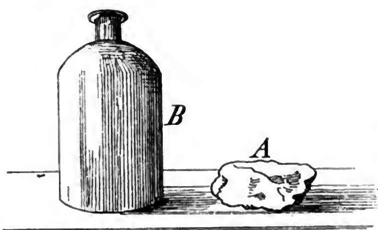


Fig. 3. Der feste Körper *A* läßt sich nicht in die Flasche *B* bringen, obwohl er in derselben Platz hat.

Das Wasser repräsentiert den flüssigen Zustand der Materie. Die flüssigen Körper haben keine selbständige Form, sie nehmen die Gestalt des Gefäßes an, in welchem sie sich befinden. Tropfenweise können wir das Wasser aus einem Glase in das andere gießen, die Tropfen vereinigen sich sogleich wieder zu einem Ganzen. Stören wir ihre Gleichgewichtslage durch Umrühren oder anderswie, immer kehren die kleinsten Teilchen in ihre ursprüngliche Lage zurück, der Schwerkraft folgend. Jeder Tropfen ist bemüht, soweit niederzusinken, als es die Umstände gestatten. Das Wasser rinnt vom Berg ins Thal.

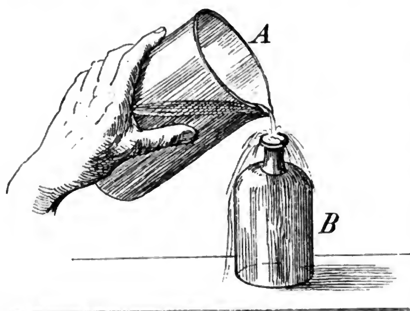


Fig. 4. Das Wasser läßt sich aus dem Glase *A* in die Flasche *B* gießen, aber es hat nicht Platz in derselben.

Die leichte Beweglichkeit der einzelnen Teilchen ermöglicht es, das Wasser aus dem Glase *A* (Fig. 4) in das enghalsige Fläschchen *B* zu gießen. Das Wasser schmiegt sich der Form der Flasche an, aber es hat nicht Platz in derselben, es läuft über. Flüssige Körper haben zwar keine selbständige Form, wohl aber eine selbständige Raumerfüllung.

In dem Kessel *A* (Fig. 5) kocht Wasser. Wir sehen den Wasserdampf durch die Röhre, welche am oberen Teile des Kessels angebracht ist, entweichen. Der Dampf scheint den Gesetzen der Schwere nicht zu folgen, er sinkt nicht zu Boden, sondern steigt in die Höhe. Die Dampfsäule breitet sich beim Aufsteigen immer mehr aus. Die einzelnen Teilchen des Dampfes zeigen das Bestreben, sich voneinander zu entfernen, sie mischen sich der Luft bei und verschwinden unserem Auge. Der in die Luft gelangte Wasserdampf verhält sich wie die Luft, und die Luft ist derjenige gasförmige Körper, an dem wir die Eigenschaften der Gase am bequemsten studieren können.



Fig. 5. Der dem Kessel *A* entströmende Dampf löst sich in der Luft auf und verschwindet unseren Augen.

Ist denn die Luft überhaupt ein Körper? Das Wesentliche aller Körper ist, daß sie Raum einnehmen und Gewicht besitzen. Genügt die Luft diesen Bedingungen, so ist sie ein Körper im physikalischen Sinne. Nicht das Auge entscheidet; es giebt auch unsichtbare Körper, und nicht alles, was wir erblicken, z. B. der Schatten, der uns im Sonnenschein verfolgt, entspricht den Bedingungen des Körperlichen.

Wenn ich, meine Damen und Herren, nun weiter fragen würde: Was ist in dieser Flasche (Fig. 6)? Vielleicht würde der Eine oder die Andere antworten: „Die Flasche ist leer, es ist nichts darin!“



Fig. 6. Was ist in dieser Flasche?

Das ist aber nicht ganz richtig, wie wir sogleich sehen werden. Ich verschließe die Flasche mit einem doppelt durchbohrten Stopfen, in dessen einer Bohrung ein Trichter steckt, während die andere Bohrung ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr, das durch einen Glashahn verschlossen ist, enthält. Nun will ich versuchen, Wasser, das blau gefärbt ist, damit Sie es besser sehen können, durch den Trichter in die Flasche zu gießen — aber, es gelingt nicht (Fig. 7). Das Wasser fließt nicht in die Flasche, weil diese mit einem andern Körpern angefüllt ist, voll Luft ist, die nicht entweichen kann, weil der Glashahn *c* geschlossen und die Spitze des Trichters *A* so eng ist, daß sich die Luft nicht hindurchzwängen kann. Öffnen wir den Hahn, so entweicht die Luft, verdrängt durch das in die Flasche rinnende Wasser. Daß die Luft durch das Glasrohr entweicht, können wir nicht sehen, weil die Luft durchsichtig ist.

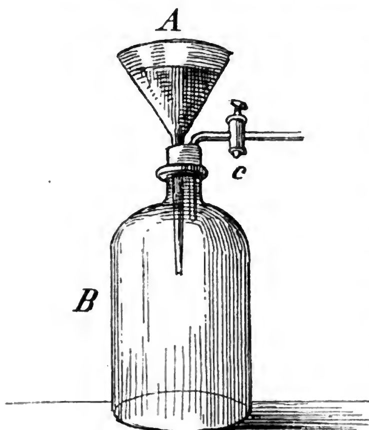


Fig. 7. Das Wasser im Trichter *A* fließt nicht in die Flasche *B*.

Schreiben wir aber der entweichenden Luft einen bestimmten Weg vor, zwingen wir sie z. B. durch das Glasrohr *d* (Fig. 8)

zu gehen und leiten wir sie in den mit Wasser gefüllten Glascylinder *C*, der in der Wanne *W* steht, so sammeln sich, wie wir jetzt sehen, die Luftblasen in dem Glascylinder an.

Wollen wir Luft oder ein anderes Gas aufsammeln oder aufbewahren, so kann dies nur in Gefäßen, die nach allen Seiten hin geschlossen sind, geschehen. Bei unserem Versuche (Fig. 8) wird z. B. die Luft nach oben hin durch den Boden

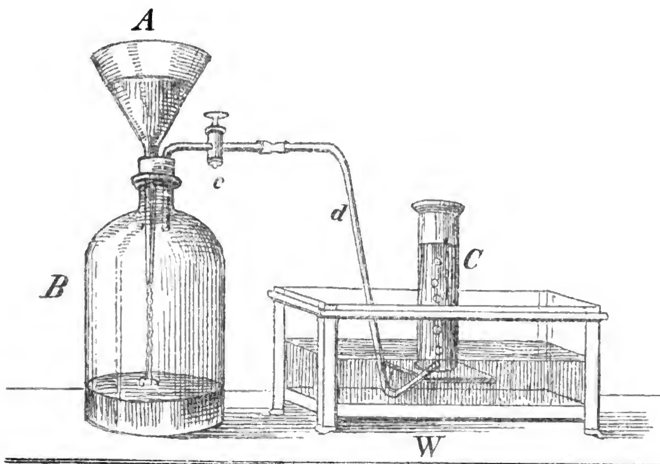


Fig. 8. Das aus dem Trichter *A* herabfließende Wasser verdrängt die Luft aus *B*; die Luft sammelt sich in dem Cylinder *C* an.

des Glascylinders, nach unten durch den allmählich sinkenden Wasserspiegel abgeschlossen.

In ganz ähnlicher Weise findet sich ein bestimmtes Luftquantum, durch Quecksilber abgesperrt, in der Glasröhre I (Fig. 9), die in dem mit Quecksilber gefüllten Cylinder steht. Die Luft reicht genau bis zu der Marke *M*. Ziehe ich die Röhre in die Höhe, so daß sie nicht mehr auf dem Boden des Cylinders steht, jedoch mit ihrer unteren Öffnung immer unter dem Quecksilber bleibt, so vergrößert sich allmählich der Raum, den die Luft einnimmt — jetzt hat er sich nahezu verdoppelt, ohne daß etwas hinzugekommen oder verloren gegangen

ist II (Fig. 9). Senken wir die Röhre wieder bis zum Boden des Cylinders herab, so nimmt die Luft auch wieder den ursprünglichen Raum ein. Jetzt umfasse ich den oberen Teil der Röhre fest mit der Hand, so daß sich die Körperwärme auf die Luft überträgt und wir sehen, daß die erwärmte Luft das Quecksilber unter die Marke *M* herabdrückt III (Fig. 9). Wir erkennen aus diesen Versuchen, daß eine bestimmte Menge Luft unter verschiedenen (Druck- und Temperatur-) Verhältnissen einen verschiedenen Raum einnimmt. Da diese sich beständig ändern, besitzt die Luft (Wasserdampf und alle anderen gasförmigen Körper verhalten sich ebenso) weder eine selbständige Gestalt noch eine selbständige Raumerfüllung.

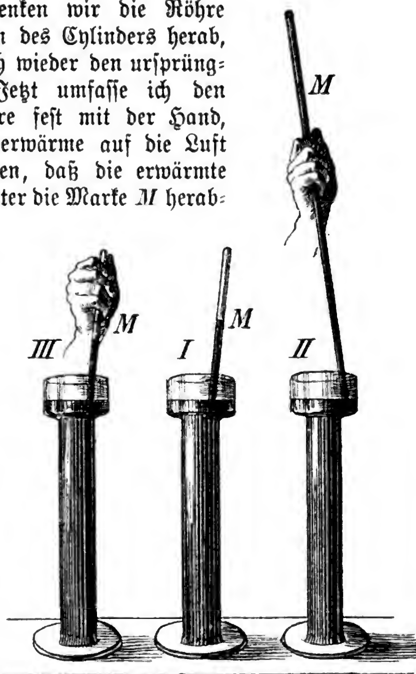


Fig. 9. Ein und dieselbe Gasmenge nimmt unter verschiedenen (Druck- und Temperatur-)Verhältnissen einen wechselnden Raum ein.

Besondere Eigenschaften der Gase und Unterscheidung derselben.

Eine sehr beachtenswerte Eigentümlichkeit der Gase haben wir beobachtet, als wir den Wasserdampf, welcher aus dem Kessel *A* (Fig. 5) entwich, sich in der Luft auflösen sahen. Wir wollen jetzt in begrenztem Raume zwei Gase miteinander zusammen bringen. Der Glascylinder *A* (Fig. 10) enthält ein farbloses Gas, in dem anderen *B* sehen wir ein braungefärbtes Gas (Bromdampf). Die oberen Öffnungen beider Cylinder sind durch eingefettete Glasplatten verschlossen, so daß

die Gase nicht entweichen können. Wir wollen den Cylinder *B* mit der Glasplatte nach unten auf den Cylinder *A* setzen und nun beide Glasplatten mit einem Griff entfernen. Das braune Gas fällt herab, gewissermaßen wie wenn der untere Cylinder leer wäre, in gleichem Maße steigt das farblose Gas aus dem unteren, und sehr bald ist die Mischung eine vollständige. Also: bringen wir zwei verschiedene Gase in einen Raum, so durchdringen sie sich, jedes füllt den Raum so aus, als ob das andere nicht da wäre.

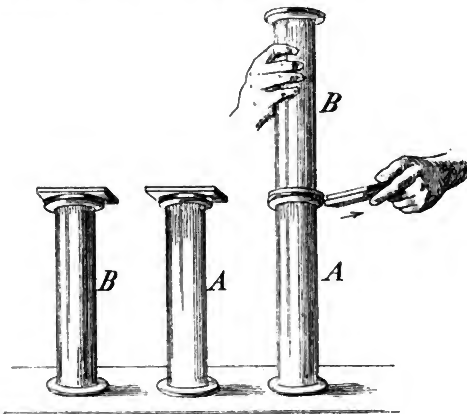


Fig. 10. Zusammenmischen zweier Gase.

Wir kennen nur wenige Gase, die gefärbt sind. Die meisten Gase sind farblos, wie die Luft, die uns umgiebt und daher dem Auge nicht sichtbar. Dieser Umstand macht die Unterscheidung verschiedener Gase schwieriger, als die Unterscheidung flüssiger und fester Körper, aber er macht sie keineswegs unmöglich.

In den drei Stöpselcylindern *A*, *B*, *C* (Fig. 11) befinden sich drei verschiedene farblose Gase (Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure), welchen wir bei unseren späteren Untersuchungen vielfach begegnen werden. Daß diese Gase voneinander verschieden sind, erkennen wir durch folgende Versuche. Bekanntlich glimmt ein Holzspan an der Luft nur langsam fort und erlischt bald ganz. Führe ich einen glimmenden Span in den Cylinder *A* ein, so flammt er auf und verbreitet einen Glanz, der uns fast

blendet. Das Gas in dem Cylinder *B* zeigt diese Erscheinung nicht, der glimmende Span hört sofort zu glühen auf, ich führe ihn brennend ein, und augenblicklich verlischt er. Das Gas in dem Cylinder *C* verhält sich in gleicher Weise.

Das Gas in *A* ist also von den beiden anderen in *B* und *C* verschieden, und diese wollen wir nun weiter untersuchen. Dazu verwende ich die klare Flüssigkeit, welche sich in dieser Flasche befindet (Kalkwasser); ich teile sie in zwei gleiche Teile und gieße in jeden Cylinder die Hälfte. In dem Cylinder *C* entsteht eine Trübung, die beim Umschütteln mehr und mehr zunimmt und die Flüssigkeit milchig weiß erscheinen

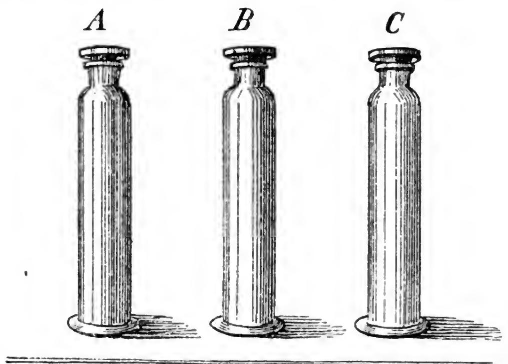


Fig. 11. Verschiedene farblose Gase.

läßt, während in dem anderen Cylinder *B* die Flüssigkeit klar und farblos bleibt. Der Versuch ergiebt mithin, daß auch *B* und *C* verschiedene Gase enthielten.

Wie das Wasser, welches in der Kälte fest, in der Wärme gasförmig wird, verhalten sich viele andere Körper. Das Eisen schmilzt in der Hitze des Hochofens, in der Glut des elektrischen Flammenbogens verdampft es. Flüssiges Eisen verhält sich wie Wasser, es besitzt keine selbständige Gestalt, es nimmt die Gestalt der Formen an, in die es gegossen wird. Eine chemische Veränderung des Eisens geht hierbei nicht vor sich. — Wie der Wasserdampf werden Luft und andere Gase, wenn sie in geeigneter Weise hinreichend abgekühlt werden, flüssig und

schließlich fest. In einer späteren Zusammenkunft werde ich in der Lage sein, Ihnen das Festwerden eines Gases vorzuführen, und Sie werden dann Gelegenheit haben, sich davon zu überzeugen, daß die chemische Natur des festgewordenen Gases sich nicht geändert hat.

Physikalische Vorgänge beim Zusammentreffen von Gasen, flüssigen und festen Körpern.

Wir haben soeben durch einen Versuch kennen gelernt, daß zwei Gase, miteinander in Berührung gebracht, sich sehr bald durchdringen. Dasselbe findet statt, wenn drei, vier oder mehr Gase zusammen kommen. Unser Leuchtgas ist z. B. ein solches Gemisch von acht verschiedenen farblosen Gasen. Allen Gasen, die wir kennen, ist die Eigenschaft der gegenseitigen Durchdringbarkeit gemein, jeder Teil der Gasmischung enthält den gleichen Bruchteil der einzelnen Gase.

Wenn wir zwei Flüssigkeiten miteinander mischen, findet bisweilen etwas Ähnliches statt. Wir verdünnen den Essig, wenn er uns zu sauer ist und erhalten eine Mischung, von welcher jeder Tropfen einen bestimmten Bruchteil Essig und Wasser enthält. Anders verhalten sich Wasser und Öl; sehr bald trennen sich die Ölteilchen vom Wasser, sie vereinigen sich zu Tropfen und das Öl schwimmt oben auf. Flüssigkeiten verhalten sich also gegeneinander verschieden, sie mischen sich entweder miteinander, oder sie mischen sich nicht.

Ganz etwas Ähnliches beobachten wir, wenn wir feste Körper und Flüssigkeiten zusammen bringen. Wenn ich auf Kochsalz Wasser gieße, so löst sich das Salz auf, gieße ich jedoch auf Schwefel Wasser, so löst sich der Schwefel nicht auf. Ich wiederhole den Versuch mit der wasserhellen Flüssigkeit (Schwefelkohlenstoff) in der Flasche, die vor mir steht. Wir sehen, daß sich das Kochsalz in dieser Flüssigkeit nicht löst, während der Schwefel sehr bald in Lösung gegangen sein wird. Die Löslichkeit eines Körpers ist also von der Natur des Lösungsmittels abhängig. Kochsalz ist in Wasser löslich, nicht in Schwefelkohlenstoff; Schwefel löst sich nicht in Wasser, wohl aber in Schwefelkohlenstoff.

Die Vorgänge, welche bei der Lösung eines festen Körpers stattfinden, lassen sich besser beobachten, wenn der lösliche Körper

gefärbt ist. Diese blauen Kristalle (Kupfervitriol) sind in Wasser löslich. Sie befinden sich in einem Glastrichter, dessen Stiel so eng ist, daß die Kristalle nicht durchfallen können. Wir wollen nun den Trichter mit den Kristallen in den Glascylinder *B* (Fig. 12) einhängen, der bis oben mit Wasser gefüllt ist. Das Wasser dringt durch den Trichterstiel empor und löst die Kristalle in kurzer Zeit vollständig auf. Die Kristalle verschwinden, und die ganze Wassersäule in dem Cylinder färbt sich blau. In den daneben stehenden gleich großen Glascylinder *A* habe ich die gleiche Gewichtsmenge der blauen Kristalle geschüttet und hierauf vor etwa zehn Stunden Wasser gegossen. Auf dem Boden des Cylinders befinden sich noch immer ungelöste Kristalle, darüber die tiefblau gefärbte Lösung und ganz oben klares, farbloses Wasser. Das Wasser, welches mit den auf dem Boden des Cylinders befindlichen Kristallen in Berührung ist, vermag offenbar nichts mehr von denselben zu lösen, es ist gesättigt, wie man sagt. Die Lösung ist schwerer als das Wasser, und da der Cylinder nicht bewegt wurde, sondern ruhig auf dem Tische stand, fand noch keine Mischung der Lösung und des darüber befindlichen Wassers statt.

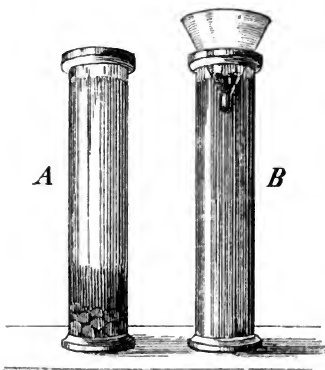
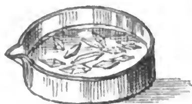


Fig. 12. Eine gegebene Menge Wasser vermag nur eine bestimmte Menge eines festen Körpers zu lösen.

Wir sehen daraus, daß die Löslichkeit fester Körper nicht unbegrenzt ist. In einer gegebenen Menge einer Flüssigkeit löst sich nur eine bestimmte Menge des festen Körpers. Erwärmen wir die Lösung, so vermag sie neue Mengen desselben Körpers aufzunehmen, aber auch wieder nur bis zu einer bestimmten Grenze. Lassen wir die Lösung erkalten, dann scheidet sich das Mehrgelöste oft in Form schöner Kristalle, wie wir sie in der Schale (Fig. 13) sehen,


Fig. 13. Auskristallisieren eines festen Körpers aus seiner warmgesättigten Lösung.

wieder aus. Wir können die Kristalle von neuem lösen, der Vorgang des Lösens und des Auskristallisierens ist also ein physikalischer.

Die Gase zeigen gegen Flüssigkeiten ein ähnliches Verhalten wie die festen Körper. In der Röhre *A* I (Fig. 14) befindet sich ein Gas (Ammoniak) über Quecksilber aufgesammelt. Das Quecksilber wirkt nicht lösend auf das Gas ein. Bringe ich aber einige Tropfen Wasser zu dem Gase*), so löst sich das Gas augenblicklich im Wasser auf, es wird gewissermaßen verschluckt oder absorbiert, wie wir sagen, infolgedessen verschwindet es dem Auge (wie Zucker im Thee), das Quecksilber steigt in die Höhe und nimmt den Raum ein, welchen das Gas vordem inne

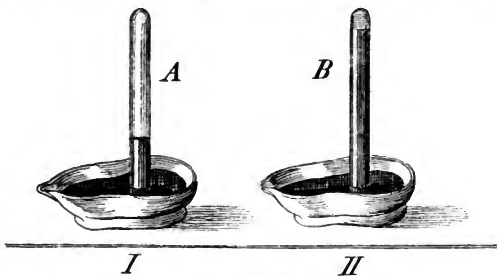


Fig. 14. Lösen eines Gases in Wasser.

hatte II (Fig. 14). Ein wesentlicher Unterschied in der Art der Löslichkeit fester und gasförmiger Körper ist folgender: Während sich feste Körper in dem erwärmten Lösungsmittel reichlicher lösen, zeigen Gase gerade das entgegengesetzte Verhalten. Erwärmen wir die Lösung, so entweicht ein Teil und schließlich in der Regel die ganze Menge des gelösten Gases.

Chemische Einwirkungen von Gasen, flüssigen und festen Körpern aufeinander.

Alle Vorgänge, welche wir uns bisher vergegenwärtigt haben, waren physikalischer Natur. Wir werden ihnen bei den mannigfaltigen Experimenten, die wir noch anzustellen haben,

*) Dies läßt sich leicht mit Hilfe einer kleinen Spritze bewerkstelligen, deren gebogene Spitze in das Quecksilber unter die Öffnung der Röhre gebracht wird.

unausgesetzt begegnen und können sie nun richtig deuten. Ganz anders sind die Erscheinungen, wenn zwei Körper, die wir zusammen bringen, chemisch aufeinander einwirken. Diese Einwirkung kann im festen, flüssigen und gasförmigen Zustande erfolgen, und wir wollen nunmehr eine Reihe von Versuchen anstellen, bei denen chemische Vorgänge zwischen Gasen, flüssigen und festen Körpern stattfinden.

Die farblosen Gase (Salzsäure und Ammoniak), welche sich in den beiden vor mir stehenden gleichgroßen Glascylindern *A* und *B* (Fig. 15) befinden, wirken chemisch aufeinander ein,

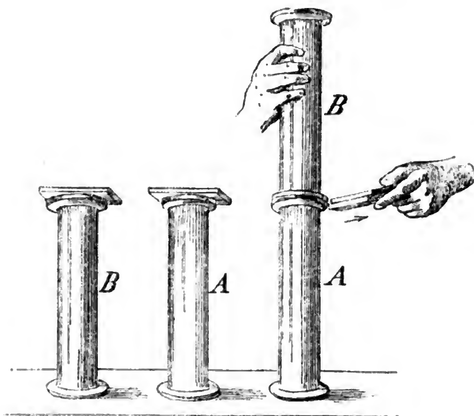


Fig. 15. Chemische Einwirkung zweier Gase.

wenn sie miteinander in Berührung kommen. Glasplatten verschließen die oberen Öffnungen. Wie bei einem früheren Versuche, bringe ich beide Cylinder so aufeinander, daß die Glasplatten sich decken und ziehe jetzt dieselben mit einem Griff rasch zur Seite. Eine unerwartete Erscheinung stellt sich unseren Augen dar. Dichte Nebelwolken erfüllen plötzlich den ganzen durch die Cylinder begrenzten Raum. Das sind kleine Partikelchen eines festen weißen Körpers, die zunächst schwebend erhalten werden, sehr bald aber sich an den Glaswandungen ansetzen und dieselben undurchsichtig machen. Die Cylinder haften fest aufeinander. Alle Kraft muß ich aufbieten, um sie voneinander zu trennen, und in demselben Moment, in dem es mir

gelingt, höre ich ein Geräusch, wie wenn Luft in einen leeren Raum stürzt. An Stelle der verschwundenen Gase bedeckt eine dünne Schicht des neuen Körpers (salzsaures Ammoniak oder Salmiak) den Boden und die Innenwandungen der Cylinder.

Die beiden Gase, welche zu dem Versuche dienten, haben die Eigenschaft, sich in Wasser zu lösen. Die Lösungen sind klar, farblos und durchsichtig, wie Wasser, das lehrt ein Blick auf den Inhalt*) der Gläser *A* und *B* (Fig. 16). Es ist meine Absicht, beide Lösungen zusammen zu gießen. Eine sichtbare Veränderung tritt hierbei nicht ein und dennoch findet ein chemischer Vorgang statt und zwar genau derselben Art, wie bei der Vereinigung der Gase für sich. Der weiße, feste Körper erscheint uns nicht in greifbarer Gestalt, weil auch er in Wasser löslich ist, aber wenn wir die Lösungen vereinigen und erwärmen würden, so daß das Wasser verdampft, würde ein weißer, fester Rückstand zurückbleiben. Auch in anderer Weise können wir uns von dem Vollzug des chemischen Vorganges überzeugen. Wir können den Geschmack und den Geruch der Lösungen verfolgen. In der Regel aber verfährt man anders, man benutzt blau und rot gefärbte Papierstreifen, sogenanntes Reagenspapier (Lackmuspapier), das wir jetzt in die Lösungen *A* und *B* tauchen wollen. Wir sehen, daß in *A* der rote Papierstreifen rot bleibt, der blaue hingegen sich rot färbt (die Lösung reagiert sauer) und umgekehrt in *B* den roten Streifen sich blau färben, den blauen unverändert bleiben (die Lösung reagiert alkalisch). Mischen wir jetzt die Lösungen zusammen und prüfen $(A+B)$ mit unserem Reagenspapier, so findet weder eine Rotfärbung des blauen, noch eine Blaufärbung des roten Papierstreifens statt (die Flüssigkeit reagiert neutral). Der Nachweis, daß ein

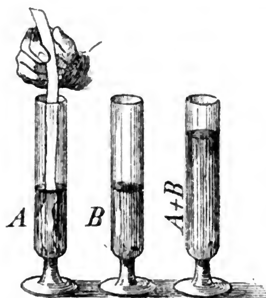


Fig. 16. Nachweis einer chemischen Reaktion mit Reagenspapier.

*) Wässrige Lösungen von Salzsäure und Ammoniak, genau in dem Mengenverhältnis, in welchem sie sich chemisch verbinden.

Körper mit anderen Eigenschaften entstanden, ist also erbracht. (Reagenspapier erhält man durch Eintauchen von ungeleimtem Papier in geeignete Farbstofflösungen. In der Regel verwendet man Lackmustinktur, welche den blauen Farbstoff einer Flechte enthält. Setzt man einen Tropfen Salzsäure zu der blauen Tinktur, so wird sie rot.)

Wässrige Lösungen anderer Körper vereinigen sich oft zu unlöslichen Verbindungen. In solchen Fällen scheidet sich der unlösliche Körper oft fein verteilt aus, die Flüssigkeit trübt sich und erscheint, je nach der Farbe des neuen Körpers, weiß, gelb, rot, schwarz u. s. w. gefärbt. (Es werden eine Reihe solcher Reaktionen angestellt.)

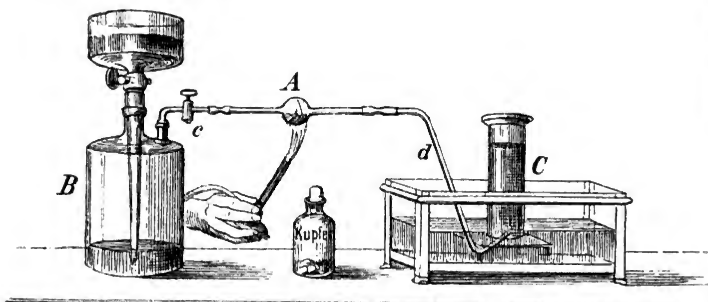


Fig. 17. Chemische Einwirkung eines Gases auf einen festen Körper.

Die chemische Vereinigung eines festen Körpers und eines Gases soll uns der folgende Versuch vor Augen führen. Der rote Körper, welcher sich in der Glasbüchse (Fig. 17) befindet, ist Kupferfeile. Wir wollen etwas davon in die kugelförmige Erweiterung der Glasröhre *A* bringen und das Gas aus dem Behälter *B* (Sauerstoff) einwirken lassen. Aus demselben kann das in dem oberen Trichter befindliche Wasser das Gas noch nicht verdrängen, weil der Glashahn *c* geschlossen ist. Öffne ich denselben, so strömt das Gas in die Kugelröhre *A*, in der sich das Kupfer befindet. Es findet keine Einwirkung statt, das Gas entweicht durch das Glasrohr *d* und sammelt sich in dem mit Wasser gefüllten Glascylinder *C* an. Die chemische Vereinigung des Gases mit dem Kupfer vollzieht sich erst, wenn ich den Teil der Kugelröhre, in welcher das Kupfer

liegt, mit einer Flamme erhitze. Da erglüht plötzlich das Kupfer, in dem Glascylinder steigen keine Gasblasen mehr auf, jetzt vereinigt sich das Kupfer mit dem Gase. Nach dem Erkalten werden wir deutlich sehen, daß der Inhalt der Kugelröhre schwarz geworden ist. Bringen wir ihn in ein Glas *A* (Fig. 18) und fügen verdünnte Schwefelsäure hinzu, so löst er sich mit blauer Farbe auf. Das Kupfer (ich schütte etwas davon in das Glas *B*) löst sich in der Säure nicht auf. Es ist also bei der Einwirkung des Gases auf das Kupfer ein neuer Körper (Kupferoxyd) mit anderen Eigenschaften entstanden.

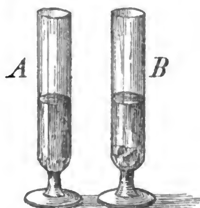


Fig. 18. Der schwarze aus dem Kupfer entstandene Körper löst sich in verdünnter Schwefelsäure, Kupfer nicht.

In überraschender Weise läßt sich die chemische Einwirkung eines flüssigen Körpers auf einen festen Körper zeigen, wenn man etwas von dem merkwürdigen Metall, das der Chemiker Kalium nennt, mit Wasser zusammenbringt. Einige Stücke Kalium, das aus Pottasche hergestellt wird, auch im Salpeter enthalten ist, befindet sich in dieser Flasche (Fig. 19) unter Petroleum aufbewahrt. Das Metall ist leichter als Wasser und schmilzt wie Wachs. Wir wollen ein kleines Stück mit dem Messer abschneiden und in ein Glas Wasser werfen (Fig. 19). Das Metall bleibt auf der Oberfläche des Wassers, schmilzt zu einer feurigen Kugel, die stoßweise hin- und herfährt, dabei immer kleiner wird und sehr bald mit schwach zischendem Geräusch verschwindet. — Reines Wasser verändert Lackmuspapier nicht, nach der Einwirkung des Kaliums färbt das Wasser rotes Lackmuspapier blau. Verdampft man das Wasser, so bleibt ein fester, weißer Körper zurück. Dieser Rückstand hat ganz andere Eigenschaften, als das Metall, von welchem wir ausgingen. — Der interessante Versuch wird uns später wieder beschäftigen.



Fig. 19. Chemische Einwirkung eines festen Körpers auf einen flüssigen.

Feste Körper wirken in der Regel nicht ohne weiteres aufeinander ein. Bei jeder chemischen Reaktion treten immer die denkbar kleinsten Teilchen der Körper miteinander in Wechselwirkung. In den festen Körpern befinden sich diese kleinsten Teilchen in einer starren, unbeweglichen Lage. Ihre leichte Beweglichkeit in den gasförmigen und flüssigen Körpern erklärt die große Reaktionsfähigkeit derselben. Das hat die Erfahrung seit langer Zeit erkannt und zum Ausdruck gebracht in dem Satz: corpora non agunt, nisi fluida (nur im flüssigen Zustande wirken die Körper aufeinander ein). Selbst wenn wir feste Körper in möglichst feingepulvertem Zustande zusammenreiben, erhalten wir immer nur Mischungen, welche unter dem Mikroskop die einzelnen Bestandteile nebeneinander erkennen lassen. Hier ist eine solche Mischung von Schwefel- und Eisenpulver! In derselben besitzen Schwefel und Eisen noch alle ihre eigentümlichen Eigenschaften. Mit dem Magnet läßt sich das Eisen vom Schwefel wieder trennen. Dasselbe erreicht man, wenn man Schwefelkohlenstoff auf die Mischung gießt; der Schwefel geht in Lösung, das Eisen bleibt zurück.



Fig. 20. Chemische Vereinigung von Schwefel und Eisen.

Schwefel und Eisen haben ein großes Bestreben, sich chemisch miteinander zu verbinden. — Erwärme ich etwas von der Mischung in einem Probiergläschen (Fig. 20), so schmilzt zunächst der Schwefel, steigere ich die Temperatur noch ein wenig, so findet plötzlich unter Erglühen der ganzen Masse die Vereinigung statt. Der neue Körper (Schwefeleisen) hat weder die Eigenschaften des Eisens (er ist nicht magnetisch), noch die des Schwefels (er löst sich nicht in Schwefelkohlenstoff), sondern ganz andere.

Umwandlung eines Metalls in verschiedene Verbindungen und Wiederabscheidung desselben. Chemie und Alchemie.

Bei einem der Versuche, die wir anstellten, um uns chemische Einwirkungen zwischen gasförmigen, flüssigen und festen Körpern zu veranschaulichen, gingen wir von dem Kupfer aus. Durch

chemische Vereinigung mit einem Gase entstand aus dem Kupfer ein schwarzer Körper, der sich in verdünnter Schwefelsäure mit blauer Farbe löst. Wenn man die Lösung verdampft, bleiben blaue Kristalle zurück. Diese blauen Kristalle lassen sich rückwärts wieder zerlegen in die Bestandteile, aus welchen sie entstanden. Wir wissen, daß einer dieser Bestandteile Kupfer ist, wir werden uns daher nicht wundern, wenn es gelingt, das Kupfer aus der blauen Lösung wieder abzuscheiden. Es läßt sich dies in sehr einfacher Weise herbeiführen. Wir brauchen nur ein Stück blankes Eisenblech in die Lösung zu tauchen und sofort überzieht es sich mit einer dünnen Schicht eines rotglänzenden Körpers, der nichts anderes als Kupfer ist (Fig. 21).

Uns überrascht der Vorgang nicht. Derjenige aber, welcher unseren Versuchen nicht beiwohnte, durch die wir das Kupfer erst in den schwarzen Körper, dann in die blaue Lösung überführten — muß der Unkundige nicht, wenn er nur diesen letzten Versuch sieht, geneigt sein, ihn zu deuten als eine Verwandlung des Eisens in Kupfer? Und, wenn diese Vorstellung Platz greift, ist es dann nicht erklärlich, die Hoffnung daran zu knüpfen, ebenso wie das Eisen in Kupfer, das Kupfer in Silber, das Silber in Gold zu verwandeln?


Fig. 21. Abscheidung von Kupfer durch Eisen.

Und in der That, meine Damen und Herren, länger als ein Jahrtausend, vom 4. Jahrhundert n. Chr. bis zum 16. Jahrhundert, war es das ausschließliche Ziel der Chemie, Gold zu machen. Man suchte nach einer geheimnisvollen Substanz — dem Stein der Weisen — der es vollbringen sollte, unedle Metalle in Gold zu verwandeln. Es ist das Zeitalter der Alchemie. Es war ein unerreichbares Ziel, nach dem man strebte. Die endlosen Bemühungen, die Arbeiten eines Jahrtausends waren aber insofern nicht fruchtlos, als man in der Hast nach dem verlockenden Ziel alles Mögliche untersuchte und eine Summe von Erfahrungen aufhäufte, welche allein später die wunderbar rasche Entwickelung der Chemie ermöglichte.

Alle irdischen Körper bestehen aus Grundstoffen oder Elementen. Vorkommen derselben auf der Sonne.

Es ist Aufgabe der Chemie, zu zeigen, wie die Körper zusammengesetzt sind. Die Frage nach den einzelnen Bestandteilen der Körper läßt sich nicht immer in so einfacher Weise, wie wir soeben den Nachweis von Kupfer in der blauen Lösung erbrachten, beantworten. In vielen Fällen sind hierzu eine Reihe umständlicher Operationen, die sich auf scharfsinnige Überlegung stützen, erforderlich. Und trotz alledem gelingt es nicht, gewisse Körper weiter zu zerlegen. Alle Versuche, die man anstellte, das Kupfer weiter zu zerlegen, sind vergeblich gewesen. Hier steht die Forschung an einer Grenze. In gleicher Weise ist es nicht möglich, durch irgend einen bekannten chemischen Prozeß das Eisen, das Kupfer, das Silber, das Gold, den Schwefel, das Kalium und eine Reihe anderer Körper weiter zu zerlegen.

Solche unzerlegbare Körper nennen wir Grundstoffe oder Elemente. Wir kennen 74 solcher Grundstoffe, deren Namen in jedem Hörsaal, der für chemische Vorlesungen bestimmt ist, so auch in diesem, auf der Tafel hier oben (und auf der Tabelle S. 137) verzeichnet sind. Sie bilden das Fundament unserer Wissenschaft, sie sind die Bausteine, aus welchen die Natur all' ihre Gebilde zusammengefügt hat. Alles, was die Erde in sich birgt und das Meer bis zu den erforschten Tiefen, all' die wunderbaren Schöpfungen der Pflanzen- und Tierwelt sind aufgebaut aus diesen — und nur aus diesen Grundstoffen. Diese Grundstoffe oder Elemente lassen sich, wie wir heute wissen, nicht ineinander überführen, mithin lassen sich Eisen und Kupfer nicht in Silber oder Gold verwandeln.

Mit einer gewissen Vorliebe bediente sich die Natur einiger weniger dieser Grundstoffe. Andere kommen nur sehr vereinzelt in seltenen Mineralien vor, wieder andere zwar häufiger, aber nur in geringen Mengen. — Scheiden wir diejenigen aus, deren Menge weniger als ein Hundertstel Prozent der gesammten Masse unseres Planeten beträgt, so bleiben folgende Grundstoffe übrig.

Die auf der Erde am häufigsten vorkommenden Grundstoffe (nach J. W. Clarke).

Sauerstoff	49,98	Prozente der Erdmasse
Silicium	25,30	
Aluminium	7,26	
Eisen	5,08	
Calcium	3,51	
Magnesium	2,50	
Natrium	2,28	
Kalium	2,23	
Wasserstoff	0,94	
Titan	0,30	
	99,38	

	99,38	
Kohlenstoff	0,21	Prozente der Erdmasse
Chlor	0,15	
Phosphor	0,09	
Mangan	0,07	
Schwefel	0,04	
Baryum	0,03	
Stickstoff	0,02	
	99,99	
Die übr. 57 Elem. i. Sa.	0,01	
	100,00	

Von diesen Grundstoffen sind vier: Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor und Stickstoff gasförmig, die übrigen fest. Uns wird bei unseren weiteren Unterhaltungen, in denen wir zunächst einen Einblick in die Zusammensetzung der Luft und des Wassers gewinnen wollen, von diesen Grundstoffen nur ein Teil eingehender beschäftigen.

Die menschliche Forschung ist nicht gebunden an die Grenzen des Irdischen. Die Kunde, welche das Licht von fernen Himmelskörpern bringt, sagt uns zweifellos, daß auf der Sonne Grundstoffe gleicher Art vorhanden sind, wie auf unserer Erde. Diese Erkenntnis hat jene Kant-Laplacesche Theorie von der Entstehung unseres Planetensystems aufs glänzendste bestätigt.

II. Die Luft.

Falsche Ziele der Chemie. Verfolgung chemischer Vorgänge mit der Wage seit Ende des 18. Jahrhunderts. Einwirkung der Luft auf: Kupfer, Eisen und Quecksilber. Zerlegung des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff. Die Luft enthält Sauerstoff und Stickstoff. Die Luft ist keine chemische Verbindung. Die Luft enthält Wasserdampf und Kohlensäure. Weitere Bestandteile der Luft: Salpetersäure, Ammoniak und Ozon, — Argon und Helium — (Sonnenstäubchen und Bakterien). Masse der Atmosphäre. Gleichbleibende Zusammensetzung der Luft.

Falsche Ziele der Chemie. Verfolgung chemischer Vorgänge mit der Wage seit Ende des 18. Jahrhunderts.

Wir haben eine Reihe von Vorgängen kennen gelernt, die wir als chemische bezeichneten, weil bei denselben aus den aufeinander einwirkenden Körpern neue Körper mit anderen Eigenschaften entstanden.

Derartige Vorgänge vollziehen sich unausgesetzt in der Natur ohne unser Zuthun, andere wieder sucht der Mensch, indem er sich auf überlieferte Erfahrungen stützt, in einer bestimmten Absicht herbeizuführen. Hierher gehört das Brennen des Kalkes zum Zwecke der Mörtelbereitung, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen und manche andere Verrichtung, ohne welche ein Kulturleben überhaupt nicht denkbar ist.

Erfahrungen und Beobachtungen, welche in das Gebiet der Chemie gehören, sind seit den ältesten Zeiten gemacht worden. Viel später erst kam man dazu, diese Erfahrungen zusammen zu fassen zur Erreichung eines bestimmten Zieles.

Wir haben gesehen, daß es eine lange Zeit hindurch das Ziel der Chemie war, Gold zu machen — es ist das Zeitalter der Alchemie. Dann war es einmal das ausschließliche Ziel der Chemie, Krankheiten zu heilen — es ist das

Zeitalter der Jatrochemie. Erst gegen Ende des 17. Jahrhunderts kommt die Chemie zum Bewußtsein ihres wahren Zweckes und erhebt sich dadurch zu einer selbständigen Wissenschaft, deren Aufgabe, deren unbestrittenes Ziel geblieben ist und bleiben wird: zu erforschen, wie die Körper zusammengesetzt sind und die Gesetzmäßigkeiten zu ergründen, nach denen sich die Grundstoffe vereinigen, um auf diese Kenntnis gestützt mit der Natur zu wetteifern in der Herstellung wichtiger Produkte, oder neue Körper hervorzubringen, die uns besonders wertvoll erscheinen.

Nachdem das wahre Ziel der Chemie erkannt war, faßte man zunächst nur die äußeren, sichtbaren Veränderungen, welche die Körper bei der chemischen Einwirkung aufeinander erleiden, ins Auge. Diese einseitige Auffassung führte aber nicht zu einer befriedigenden und richtigen Erklärung der Beobachtungen. Erst als man die Wage zur Hand nahm und mit der Wage in der Hand die chemischen Vorgänge verfolgte, war der richtige Weg betreten, auf welchem die Chemie fortschreitend, indem sie sich die Erfahrungen vergangener Jahrhunderte nutzbar machte, ihre heutige Entwickelung erreichte und einen Einfluß auf die Kulturentwickelung unseres Jahrhunderts ausübte, wie keine andere Wissenschaft.

Erst die Zuhilfenahme der Wage ermöglichte es, ein Urteil zu gewinnen über die Zusammensetzung der Luft, jenes unsichtbaren, gasförmigen Körpers, der uns überall umgiebt, dessen einzelne Teilchen so leicht beweglich sind, daß wir sie, ohne es zu merken, bei jedem Schritt und Tritt aus ihre Lage drängen, der den hervorragendsten Anteil hat an allen chemischen Vorgängen, die sich in der Natur abspielen, der uns zum Leben unentbehrlich ist. So lange man die Zusammensetzung der Luft nicht kannte, so lange mußte auch der Einfluß, welchen die Bestandteile der Luft auf diese Vorgänge ausüben, unerklärt bleiben. Nachdem die Bestandteile der Luft und ihre Eigenschaften erkannt waren, ergab sich die lange vergeblich gesuchte Erklärung fast von selbst.

Wir wollen heute den seit hundert und einigen Jahren betretenen Weg einschlagen und die chemischen Vorgänge, die wir unseren weiteren Betrachtungen zu Grunde legen werden, mit der Wage verfolgen, soweit es unter den gegebenen Verhältnissen möglich ist.

Einwirkung der Luft auf Kupfer, Eisen und Quecksilber.

Es ist bekannt, daß sich die Metalle beim Erhitzen an der Luft verschieden verhalten. Dieser Umstand hat mit dazu geführt, die Metalle zu unterscheiden als edle und unedle. Gold, Silber, Platin verändern sich beim Erhitzen an der Luft nicht, alle übrigen z. B. Kupfer, Eisen, Zinn werden verändert. Wir sahen bei einem der ersten Versuche, die wir anstellten, Zinn beim Erhitzen an der Luft sich in eine grauweiße Asche verwandeln; es verbrannte, wie wir sagten, aber der Ausdruck Verbrennen erklärt den Vorgang nicht.

Wir wollen jetzt etwas Kupfer erhitzen, das ich, damit nichts verloren geht, auf eine Unterlage von Kupferdrahtnetz bringe. Bevor wir jedoch den Versuch anstellen, wollen wir feststellen, wie schwer das Kupfer ist. Ich lege es auf die eine Wagschale, auf die andere Gewichtsstücke, bis die Wage im Gleichgewicht ist. Nun erhitze ich das Kupfer mit der Spitze der Flamme, so daß gleichzeitig die Luft an das Kupfer herantreten kann (Fig. 22). Es erglüht und glüht auch noch ein wenig nach, wenn ich es aus der Flamme entferne. Nach dem Erkalten sehen wir das Kupfer schwarz geworden, es hat sich also offenbar verändert. Wir wollen nun zusehen, ob der schwarze Körper dasselbe Gewicht hat, wie das Kupfer vor dem Versuch. Die Schale sinkt, der neue Körper wiegt mehr, als das Kupfer. Beim Erhitzen an der Luft ist also etwas zum Kupfer hinzugekommen.

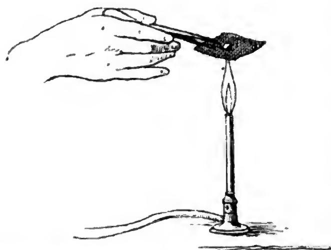


Fig. 22. Erhitzen von Kupfer an der Luft.

Hier habe ich sehr feine Eisenfeile. Bringe ich einen Magnet damit in Berührung, so zieht er die Eisenteilchen an. Ein solcher Hufeisen-Magnet mit daran haftenden Eisenteilchen hängt bereits an der Wage (Fig. 23). Wir wollen sie hin und her schwingen lassen, um uns davon zu überzeugen, daß die Zunge der Wage nach beiden Seiten gleich weit ausschlägt. Nun erhitze ich das Eisenpulver am Magnet mit

einer Flamme (Fig. 24). Die einzelnen Teilchen leuchten auf, als ob sie verbrennen. Wir sehen die Schale der Wage mit dem Magnet sinken. Das verbrannte Eisen ist schwerer, als

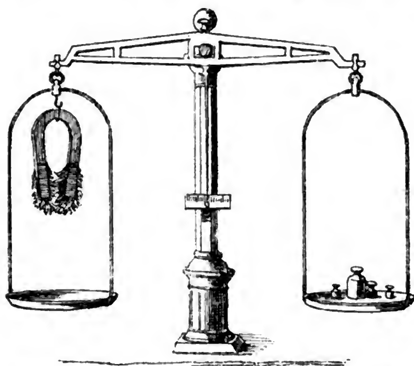


Fig. 23. Eisenfeile an einem Magneten auf der Wage im Gleichgewicht.

das unverbrannte, und wir schließen hieraus, daß das Eisen beim Erhitzen an der Luft etwas aufnimmt.

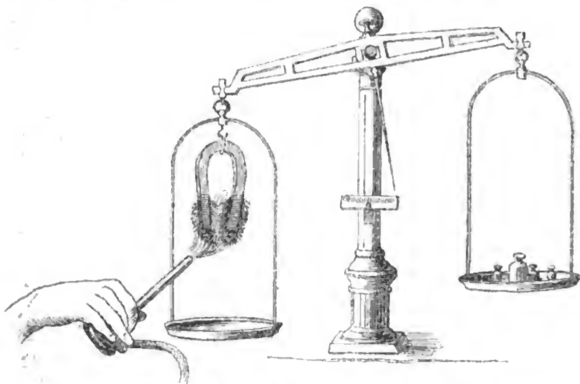


Fig. 24. Verbrennen von Eisenfeile. Das verbrannte Eisen ist schwerer.

Wenn man Quecksilber — ich habe hier eine genau abgewogene Menge, es sind 100 g, die wir in eine Porzellanschale gießen wollen — an der Luft erhitzt, nicht bis zum

Siedepunkt des Quecksilbers, der bei 360° C liegt, sondern nur etwa bis 350° C (Fig. 25), so bildet sich auf dem blanken Metallspiegel ein gelbrotes Häutchen, das aus einem festen Körper besteht. Schieben wir das Häutchen mit einem eisernen Löffel beiseite, so entsteht ein neues und so fort. Auf diese Weise gelingt es, wenn wir nur lange genug erhitzen, dabei die vorgeschriebene Temperatur einhalten und fleißig umrühren, das Quecksilber allmählich in ein rotes Pulver zu verwandeln. Wir wollen den Versuch nicht zu Ende führen, weil er zu lange dauern würde und es nicht zu vermeiden ist, daß Quecksilberdämpfe, die sehr giftig sind, in die Luft gelangen. Es soll uns genügen zu wissen, daß das Quecksilber die beschriebene Umwandlung erfährt und thatsächlich ist das schöne rote Produkt, das sich in meiner Büchse befindet, in der angegebenen Weise dargestellt worden. Aus 100 Gewichtsteilen Quecksilber wurden hierbei 108 Gewichtsteile des roten Körpers erhalten. Also, auch das Quecksilber nimmt beim Erhitzen etwas aus der Luft auf.



Fig. 25. Erhitzen von Quecksilber an der Luft.

Zerlegung des Quecksilberoxyds in Quecksilber und Sauerstoff.

Was ist es nun, was das Quecksilber (ebenso wie das Eisen und Kupfer) beim Erhitzen an der Luft aufnimmt? Diese Frage soll uns das folgende Experiment beantworten. Ich schütte etwas von dem roten Pulver in ein Gläschen *A* (Fig. 26), das ich durch einen Kork verschließe, in dessen Bohrung sich ein nach unten gebogenes Glasrohr *b* befindet. Die untere Öffnung desselben tauche ich in das Wasser der Wanne, so daß sie unter das Glascylinderchen C zu liegen kommt. Nun wollen wir das von der Luft völlig abgeschlossene rote Pulver mit einer kräftigen Flamme möglichst hoch erhitzen. Was beobachten wir? Wir sehen Gasblasen in dem Cylinder aufsteigen, die das Wasser aus demselben verdrängen, bald ist ein

Cylinder mit dem Gase gefüllt. Zugleich bemerken wir, wenn wir den nicht von der Flamme berührten Teil des Gläschens *A* aufmerksam beobachten, daß der glänzende Metallspiegel, der sich hier angesetzt hat, aus kleinen Quecksilbertröpfchen besteht. Unter dem Einfluß starker Hitze zerfällt das rote Pulver wieder in Quecksilber und in ein Gas. Verfolgen wir den Vorgang

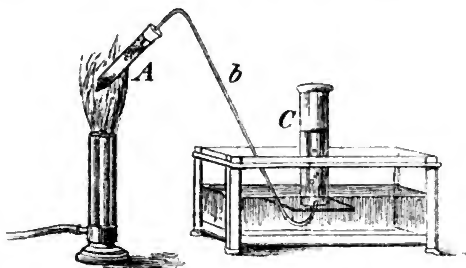


Fig. 26. Erhitzen von Quecksilberoxyd bei Abschluß der Luft.

mit der Wage, so erfahren wir, daß 108 Gewichtsteile des roten Pulvers 100 Gewichtsteile Quecksilber und 8 Gewichtsteile des Gases liefern. Wir konnten somit alles das, was das Quecksilber beim vorsichtigen Erhitzen aufnahm, durch stärkeres Erhitzen wieder austreiben. Unsere bisherigen Beobachtungen können uns daher geneigt machen zu folgern: Quecksilber vereinigt sich bei Erhitzen auf 350° mit einer bestimmten Menge Luft zu einem festen roten Körper, der in der Glühhitze wieder in Quecksilber und in Luft zerfällt, und wir hätten, um die Richtigkeit dieser Annahme zu prüfen, den Nachweis zu führen, daß das Gas, welches sich in dem Cylinder *C* ansammelte, wirklich Luft ist. Wir wissen, daß an der Luft ein glimmender Span allmählich erlischt; senken wir ihn (Fig. 27) in den Cylinder *C*, so entzündet er sich sofort und verbreitet in dem

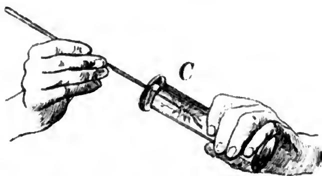
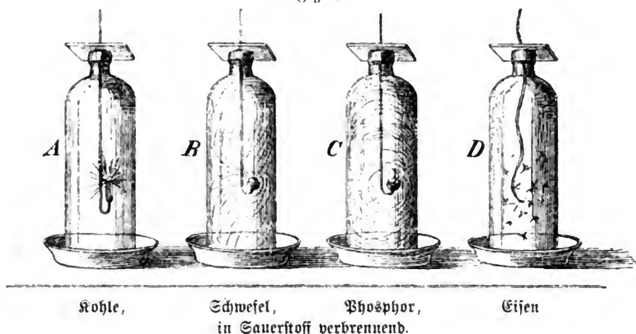


Fig. 27. In dem durch Erhitzen von Quecksilberoxyd gewonnenen Gase entzündet sich ein glimmender Span und verbrennt mit glänzendem Licht.

Gase ein glänzendes Licht, viel heller und schöner, wie beim Verbrennen an der Luft. Unser Gas verhält sich also anders als Luft — es ist nicht Luft.

In dem Gase vollziehen sich alle Verbrennungsvorgänge viel lebhafter wie in der Luft. Diese Erscheinungen gehören zu den glänzendsten, über welche die Experimentalchemie verfügt. Um Ihnen einige derselben vorführen zu können, habe ich vor unserer Zusammenkunft eine größere Menge des Gases hergestellt; die vier Glasglocken (Fig. 28) sind damit gefüllt. In die Glocke *A* bringe ich ein Stück glimmender Holzkohle, unter lebhaftem Erglühen verschwindet es in wenigen Augenblicken.

Fig. 28.



Kohle, Schwefel, Phosphor, Eisen
in Sauerstoff verbrennend.

Das Gas in der Glocke erwärmt sich dabei und dehnt sich infolgedessen erheblich aus. Da die Glocke nicht fest verschlossen ist und das untere, offene Ende in einer Schale mit Wasser steht, kann sich der Überdruck leicht ausgleichen. In der Glocke *B* wollen wir ein Stück Schwefel verbrennen, dessen wundervoll blaues Licht wir jetzt die ganze Glocke erfüllen sehen. In *C* werde ich etwas Phosphor, in *D* eine Uhrfeder zur Verbrennung bringen. Der Phosphor strahlt einen Glanz aus, so blendend, daß ihn die Augen nicht ertragen; nach dem Verlöschen des Phosphors erfüllen weiße Dämpfe die Glocke. Das glühende Eisen erhitzt sich bis zum Schmelzen, und wie hellleuchtende Sterne sprühen die brennenden Eisenteilchen nach allen Richtungen.

Die Luft enthält Sauerstoff und Stickstoff.

Luft ist es also nicht, was das Quecksilber beim Erwärmen aufnimmt, das geht aus den angestellten Versuchen zweifellos hervor, aber ebenso zweifellos ist es, daß das Gas, welches wir aus dem roten Körper wieder abscheiden konnten, aus der Luft stammt — es ist nicht Luft als solche, vielmehr ein Bestandteil der Luft. Dieser Bestandteil der Luft läßt sich nicht weiter zerlegen, er ist mithin ein Grundstoff, ein Element, welches anfangs „Lebensluft", dann „Sauerstoff" genannt wurde, weil man, als es vor etwas mehr als hundert Jahren entdeckt wurde, annahm, daß es ein notwendiger Bestandteil aller derjenigen Körper, die wir „Säuren" nennen, sei. Acceptieren wir diese Bezeichnung, so können wir sagen: Beim Erhitzen des Quecksilbers vereinigt sich der Sauerstoff der Luft mit dem Quecksilber zu Quecksilbersauerstoff, jenem roten Körper, den wir gewöhnlich Quecksilberoxyd (von Oxygenium, der latinisierten griechischen Bezeichnung für Sauerstoff), nennen. Der analoge Vorgang fand statt, als wir Kohle, Schwefel, Phosphor, Eisen in die Glocken mit Sauerstoff brachten. Die Vereinigung dieser Körper mit Sauerstoff geht, wie wir sahen, mit lebhafter Feuererscheinung vor sich. Das, was wir sahen, sind wir gewohnt mit „Verbrennung" zu bezeichnen. Was wir im gewöhnlichen Leben Verbrennung nennen, ist also nichts anderes, als eine chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff.

Nachdem die Versuche, die wir anstellten, uns zu der Erkenntnis geführt haben, daß Sauerstoff ein Bestandteil der Luft ist, wird in uns die Frage rege: Was enthält die Luft noch anderes außer dem Sauerstoff?

Wenn ein Experiment diese Frage klären soll, so werden wir, da wir jetzt wissen, daß Körper, welche in der Luft verbrennen, dieser den Sauerstoff entziehen, den Versuch so zu disponieren haben, daß wir Antwort erhalten auf die Frage: Was wird aus der Luft, in welcher ein Körper verbrannte? Wir müssen demnach in einem begrenzten Luftraum einen Körper verbrennen und zusehen, was hierbei von der Luft übrig bleibt. Zu dem Versuche soll uns das Luftquantum, welches von der Glocke A (Fig. 29), wenn ich sie in die Wanne mit Wasser (W) setze, begrenzt wird und als brennbarer Körper der leicht entzündliche Phosphor dienen. Ich lege ein Stückchen in das kleine Porzellanschälchen,

an dessen Außenwandungen einige Korkstücke mit Siegellack befestigt sind, um es schwimmend auf dem Wasser zu erhalten. Die Entzündung des Phosphors läßt sich leicht bewirken, wenn wir durch die obere Öffnung der Glocke einen erwärmten Metalldraht einführen und den Phosphor in dem Schälchen damit berühren. Wenn sich der Phosphor entzündet hat, werde ich die Öffnung der Glocke sofort wieder mit dem Glasstöpsel schließen. Wir sehen den Phosphor verbrennen und die Glocke sich mit weißen Nebeln füllen, ganz ebenso, wie es der Fall war, als wir Phosphor in Sauerstoff verbrannten. Nur ist die Erscheinung keine so glänzende. Sehr bald wird das Aufleuchten des Phosphors schwächer und schwächer, jetzt ist der Phosphor verlöscht. Die Glocke kühlt sich allmählich ab und wir sehen das Wasser in der Glocke steigen. Ein Teil der Luft ist also verschwunden, das überrascht uns nicht, wir haben es erwartet, da wir wissen, daß bei der Verbrennung Phosphor und der Sauerstoff der Luft sich miteinander verbinden. Das Produkt der Vereinigung sind die weißen Nebel, sie werden bald verschwinden, da sie in Wasser löslich sind und wir werden dann sehen, daß ein farbloses Gas übrig geblieben ist. Schon jetzt läßt sich erkennen, daß nur wenig von der Luft bei der Verbrennung verbraucht wurde. Wenn das übrig gebliebene Gas sich völlig abgekühlt hat und das Wasser in der Glocke nicht mehr steigt (Fig. 30), füllt das zurückgebliebene Gas die Glocke noch etwa zu vier Fünfteln aus. Wie oft und wo auch der Versuch angestellt wird, immer sind die Erscheinungen genau dieselben.

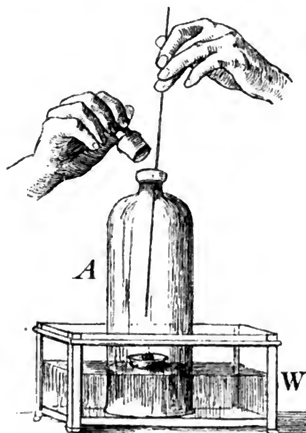


Fig. 29. Verbrennen von Phosphor in einem begrenzten Luftraum.

Wenn wir das zurückgebliebene Gas untersuchen wollen, so müssen wir uns wohl hüten, den Stopfen der Glocke zu

lüften, weil dann sofort der Wasserspiegel fallen und Luft in die Glocke eindringen würde. Es bleibt mir nichts anderes übrig, als eine Glastafel unter die untere Öffnung der Glocke zu schieben, fest anzudrücken, das Ganze aus der Wanne zu heben und die Glocke schnell umzudrehen (Fig. 31). Nun können wir durch Beiseiteschieben der Glastafel leicht zu dem Gase gelangen. Der glimmende Span, den ich einführe, hört sofort zu glimmen auf, die Flamme einer Kerze erlischt augenblicklich in dem Gase und ebenso verhält sich jeder andere brennende Körper. Das Gas zeigt also geradezu das entgegengesetzte Verhalten wie der Sauerstoff, der andere Bestandteil der Luft. Würden wir eine Maus oder ein anderes Tier in das Gas bringen, so würde es in wenigen Augenblicken ersticken. Auch dieses Gas ist, wie eingehende Untersuchungen gelehrt haben, ein Grundstoff, welcher infolge der zuletzt erwähnten Eigenschaft **Stickstoff** genannt worden ist.

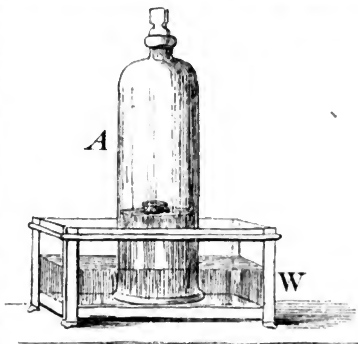


Fig. 30. Das Wasser steht innerhalb der Glocke höher, wie in der Wanne.

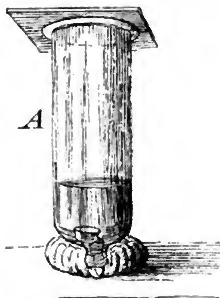


Fig. 31. Der beim Verbrennen des Phosphors übriggebliebene Teil der Luft.

Chemische Vorgänge, an welchen Stickstoff in freiem, gasförmigem Zustande teilnimmt, kennen wir nur sehr wenige. So vermag z. B. der elektrische Funke Stickstoff und Sauerstoff chemisch zu vereinigen. Dieses inerte Verhalten, die äußerst geringe chemische Verwandtschaft des Stickstoffs zu anderen Körpern, ist seine charakteristischste Eigenschaft, sie schließt es aus, mit ihm in die Augen fallende Versuche anzustellen. Der Stickstoff wirkt, wo er zugegen ist, gewissermaßen wie ein Verdünnungsmittel, chemische Vorgänge, die sich in seiner Abwesenheit energisch vollziehen würden, verlangsamend und hemmend.

Unsere Versuche haben also ergeben, daß die Luft zu etwa einem Fünftel aus Sauerstoff und zu vier Fünfteln aus Stickstoff besteht. Durch genauere Untersuchungen ist festgestellt worden, daß 100 Raumteile Luft

20,76 Raumteile Sauerstoff
78,36 „ Stickstoff
99,12 Raumteile

enthalten.

Die Luft ist keine chemische Verbindung.

Wir haben bei unseren einleitenden Betrachtungen beobachtet, daß zwei Gase, die wir zusammenbringen, sich gegenseitig sehr bald durchdringen, so daß jeder Teil des Gemisches den gleichen Bruchteil beider Gase enthält, und bezeichneten den Vorgang als einen physikalischen. Bei einem anderen Versuche sahen wir zwei Gase sich zu einem festen, weißen Körper vereinigen (Seite 14), in diesem Falle fand eine chemische Verbindung der beiden Gase statt. Ist nun die Luft eine bloße Mischung von Sauerstoff und Stickstoff oder eine chemische Verbindung dieser beiden Grundstoffe?

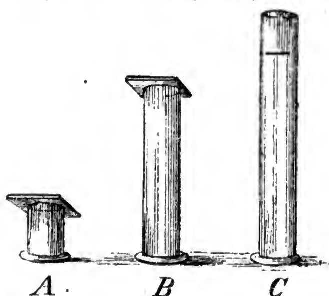


Fig. 32. Glascylinder *A* enthält Sauerstoff, *B* Stickstoff, *C* faßt bis zur Marke den Inhalt von *A* und *B*.

In den beiden Glascylindern *A* und *B* (Fig. 32) befinden sich Sauerstoff und Stickstoff. Der größere *B*, welcher Stickstoff enthält, faßt etwa viermal so viel wie der kleinere *A*, der mit Sauerstoff gefüllt ist; in genauen Zahlen ausgedrückt ist das Verhältnis 2076 zu 7836. Wir wollen nun beide Gase zusammenbringen und zwar, indem wir sie in einen dritten Glascylinder überführen, in welchem sie bequem Platz haben und zusehen, was hierbei eintritt. Dieser Cylinder *C* ist größer, ich habe ihn genau ausgemessen und hierbei gefunden, daß der Inhalt der beiden anderen *A* + *B* ihn bis zu der Marke anfüllt. Zunächst wollen wir die Luft aus dem Cylinder *C* durch Wasser verdrängen und nun zunächst den Stickstoff aus *B* (Fig. 33), alsdann den

Sauerstoff aus *A* in denselben überführen. Jetzt (Fig. 34) befinden sich beide Gase in dem Verhältnis, in welchem sie in der Luft enthalten sind, in dem Cylinder *C*, sie füllen ihn genau bis zur Marke, eine sichtbare Veränderung der Gase fand nicht

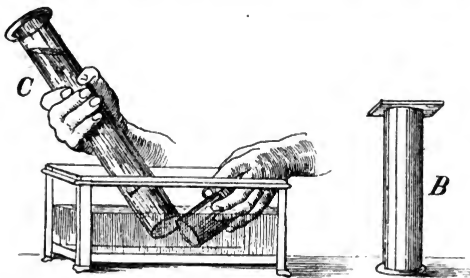


Fig. 33. Überfüllen des Sauerstoffs und Stickstoffs in den Glascylinder *C*.

statt, auch keine Erwärmung, wie wir sie bei chemischen Vorgängen sehr oft beobachten. Prüfen wir, ob das Gasgemisch die Eigenschaften der Luft hat. Der glimmende Span entzündet sich nicht wie in Sauerstoff, er verlischt nicht sofort wie

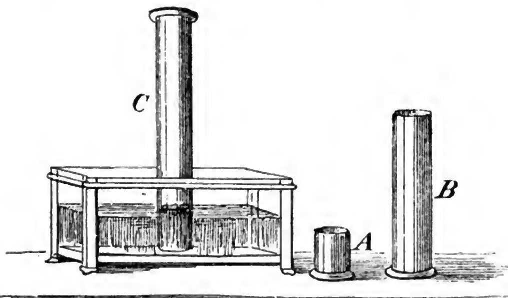


Fig. 34. Sauerstoff und Stickstoff füllen den Glascylinder *C* genau bis zur Marke.

in Stickstoff, sondern hört ganz allmählich zu glimmen auf, wie in Luft und ebenso würden alle weiteren Versuche mit dem Gemisch zu dem Ergebnis führen, daß es sich wie Luft verhält. Durch einfaches Zusammenmischen von Sauerstoff und Stickstoff

erhielten wir also ein Gasgemenge, das sich genau wie die Luft verhält und wir schließen rückwärts, daß die Luft nichts anderes als eine Mischung der beiden Gase ist.

Der Beweis hierfür läßt sich noch auf andere Art erbringen. Die Bestandteile der Luft sind, wenn auch nur in geringer Menge, in Wasser löslich. Die Fische im Wasser entbehren daher den Sauerstoff nicht. Treibt man die im Wasser gelösten Gase durch Kochen wieder aus, dann findet man in ihnen das Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff nicht wie 1:4, wie es sein müßte, wenn die Luft eine chemische Verbindung wäre, sondern wie 1:2, da der Sauerstoff im Wasser leichter löslich ist wie der Stickstoff. In 1 Liter Wasser von 15° C lösen sich 6,3 ccm Sauerstoff und 11,7 ccm Stickstoff.

Sauerstoff ist für die Lebensvorgänge der Menschen und Tiere unentbehrlich, würde die Luft jedoch nur aus Sauerstoff bestehen, so würden sich dieselben vermutlich anders vollziehen und ebenso würden eine Reihe für das tägliche Leben unentbehrlicher Vorgänge sich ganz anders gestalten. Hierfür geben uns die Versuche, welche wir mit Sauerstoff anstellten, genügende Anhaltspunkte. Eine Kerze, die uns Stunden lang Licht spendet, würde in wenigen Sekunden verbrennen, ein herabfallender Funke würde das Holz unserer Möbel, die Balken der Häuser sofort entflammen, selbst das Eisen würde keinen Schutz gegen Feuersgefahr bieten, kurzum wir würden in der beständigen Gefahr, von einem Feuermeer umgeben zu werden, schweben. Durch die reichliche Vermischung mit dem inerten Stickstoff wird die überaus energische Wirkung des Sauerstoffs abgeschwächt und geregelt und tritt in der Weise in Erscheinung, wie wir es zu sehen gewöhnt sind, die uns ein Beherrschen und Bewachen des Feuers ermöglicht.

Die Luft enthält Wasserdampf und Kohlensäure.

In . . . . . 100,00 Raumteilen Luft
sind: 99,12 Raumteile Sauerstoff u. Stickstoff enthalten
Differenz 0,88 Raumteile.

Die Luft enthält also noch etwas andres; zwei Körper, die in dem fehlenden Bruchteil vorhanden sind, nehmen zunächst unser Interesse in Anspruch: Wasserdampf und Kohlensäure. Das Vorhandensein von Wasserdampf in der Luft, der

nie, auch im strengsten Winter nicht, fehlt, ist leicht nachweisbar. Wir brauchen uns nur der bekannten Erscheinung zu erinnern, die wir beobachten, wenn sich im Sommer das Bedürfnis nach einem kühlen Trunke geltend macht. Die mit frischem Brunnenwasser gefüllte Flasche beschlägt, wie wir sagen. Wie der Tau an den Grashalmen vereinigen sich die Wasserbläschen zu Tröpfchen, die dann an der Flasche herunter rinnen. Diese Wassertröpfchen waren vordem als Wasserdampf in der Luft. Je wärmer die Luft ist, umso mehr Wasserdampf vermag sie aufzulösen und so verschwindet der Tau wieder, wenn ihn die Sonne bescheint. —



Fig. 35. Kalkwasser trübt sich an der Luft.

Vor Beginn unserer Unterhaltung goß ich, wie Sie bemerkt haben werden, etwas von der klaren Flüssigkeit (Kalkwasser) aus der Flasche (Fig. 35) in die daneben stehende Schale. In der offenen Schale hat sich die Flüssigkeit getrübt, in der verschlossenen Flasche ist sie klar geblieben. Sauerstoff, Stickstoff und Wasserdampf bringen diese Veränderung nicht hervor, ein vierter Bestandteil der Luft verursacht sie. Wenn ich den trüben Inhalt der Schale auf ein Papierfilter gieße (Fig. 36), so bleibt auf demselben ein fester, weißer Körper zurück und die Flüssigkeit läuft klar ab. In dem festen Körper ist ein Gas enthalten, welches aus der Luft aufgenommen wurde — die Kohlensäure. Auf diesen im Haushalt der Natur unentbehrlichen Körper werde ich in einer späteren


Fig. 36. Das an der Luft trüb gewordene Kalkwasser wird auf ein Papierfilter gegossen, auf demselben bleibt ein fester, weißer Körper zurück.

Zusammenkunft zurückkommen und alsdann die Eigenschaften und Zusammensetzung der Kohlensäure eingehend zu erörtern haben. Für heute soll uns der Nachweis des Vorhandenseins der Kohlensäure in der Luft genügen.

Die Menge Kohlensäure in der Luft draußen im Freien, die wir atmosphärische Luft zu nennen pflegen — und diese beschäftigt uns hier ausschließlich — ist äußerst gering. Zehntausend Raumteile atmosphärische Luft enthalten drei Raumteile Kohlensäure, das ist eine feststehende, durch genaue Versuche ermittelte Zahl. Der Gehalt an Wasserdampf läßt sich nicht so bestimmt angeben, weil er mit den Temperaturänderungen schwankt.

1000 l = 1 cbm Luft vermögen bei

30° C	nicht	mehr	als	37,4	Liter
20° C	"	"	"	21,3	"
10° C	"	"	"	11,6	"
0° C	"	"	"	6,1	"
— 10° C	"	"	"	2,9	"

u. s. w.

Wasserdampf aufzunehmen. Diese Grenzen werden jedoch nur selten erreicht.

Kühlt sich 1 cbm mit Wasserdampf gesättigte Luft von 20° C plötzlich auf 10° C ab, so werden 21,3 − 11,6 = 9,7 l Wasserdampf flüssig und erscheinen zunächst in Form der kleinen Wasserbläschen, aus denen der Nebel und die Wolken bestehen.

Faßt man die gesamten klimatischen Verhältnisse der Erde zusammen, so gelangt man schätzungsweise zu dem Resultat, daß 10,000 Raumteile Luft 84,9 Raumteile Wasserdampf enthalten.

Addieren wir die ermittelten Bestandteile der Luft, so erhalten wir in Volum-Prozenten:

Stickstoff . .	78,36*)
Sauerstoff . .	20,76
Wasserdampf .	0,849
Kohlensäure .	0,030
i. Sa.:	99,999

Es fehlt also immer noch ein Hunderttausendstel des Ganzen.

*) einschließlich 0,63 Proz. Argon, siehe Seite 37.

Weitere Bestandteile der Luft: Salpetersäure, Ammoniak und Ozon — Argon und Helium — (Sonnenstäubchen und Bakterien).

Der chemischen Forschung ist auch dieser geringe Bruchteil nicht entgangen, er setzt sich zusammen aus Spuren von: Salpetersäure, welche durch chemische Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff bei elektrischen Entladungen in der Luft entsteht, Ammoniak, einem Fäulnisprodukt stickstoffhaltiger, organischer Körper, und einer eigentümlichen Modifikation des Sauerstoffs, die wir Ozon*) nennen. In dieser Form vermag der Sauerstoff noch weit energischere Wirkungen auszuüben, als wir sie kennen lernten. Diese Wirkung des Ozons, der auf die Dauer nichts widersteht, äußert sich, trotz des hohen Verdünnungsgrades, in willkommener Weise durch die Zerstörung organischer Stoffe, insbesondere jener kleinsten organisierten Körper, auf die ich gleich zu sprechen kommen werde, die er vernichtet, von denen die Luft somit gereinigt wird. Wo diese im Übermaße sich ansammeln, wie in bewohnten Räumen oder in den Straßen volkreicher Städte, ist die geringe Menge Ozon in der Luft, die unter günstigsten Verhältnissen nur einige Millionstel beträgt, rasch verbraucht.

Schätzen wir die zuletzt genannten Gase zusammen auf zehn Millionstel, notieren wir also:

Salpetersäure Ammoniak Ozon	} . .	0,001 Vol.-Prozent
dann erhalten wir		
		+ 99,999 Vol.-Prozent
	i. Sa.:	100,000 Vol.-Prozent.

Bis vor zwei Jahren hatten diese Zahlen unbestrittene Gültigkeit. Da waren es zwei englische Gelehrte, Lord Rayleigh und W. Ramsay, die einen neuen gasförmigen Grundstoff, das Argon, in der Luft entdeckten. Dasselbe befindet sich mit dem Stickstoff unter der Glocke (Fig. 30 und 31, Seite 31).

Wenn man Luft mit der erforderlichen Menge Sauerstoff mischt und den elektrischen Funken auf das Gemisch wirken läßt,

---

*) Vergl. Seite 124, VIII. B.

vereinigen sich allmählich Stickstoff und Sauerstoff chemisch miteinander und das Argon, 0,63 Vol.-Prozent der angewandten Luft, bleibt übrig. Bisher sind nur die physikalischen Eigenschaften des Argons festgestellt, chemische Verbindungen desselben sind noch nicht bekannt. — Ein anderer Grundstoff, das Helium, dessen Vorhandensein auf der Sonne mit Hilfe der Spektralanalyse bereits 1868 von N. Lockyer gefolgert wurde, ist vor kurzem, wenn auch nur in äußerst geringen Mengen, in einigen seltenen Gesteinen eingeschlossen und in den Gasen vereinzelter Mineralquellen (Wildbad), aus denen es spurweise in die Luft gelangen kann, nachgewiesen worden.

Aber wenn wir auch alles dies zusammenfassen, ist das Reich des Unsichtbaren, welches die Luft darstellt, noch nicht erschöpft. Unter besonderen Umständen ist es, wie jeder von uns weiß, sogar möglich, etwas von dem zu sehen, was uns sonst unsichtbar bleibt. Wenn ein Sonnenstrahl durch einen engen Spalt ins Zimmer fällt, dann tanzen und wirbeln die Sonnenstäubchen lustig vor unseren Augen, bis sie endlich irgendwo Ruhe finden und sich in Form von Staub auf unseren Möbeln festlagern. Das sind kleine, leicht bewegliche feste Partikelchen, so klein, daß wir ohne weiteres ein Urteil über ihre Natur nicht gewinnen können. Legen wir diese Staubteilchen unter das Mikroskop, dann erkennen wir, was wir mit ihnen einatmen, da entpuppt sich ein Gewirre von: Wolle-, Leinen-, Leder-, Ruß-, Eisen-, Sand-, Holzteilchen u. s. w. Wo bleiben die Stiefelsohlen, die wir ablaufen, die Hufeisen der Pferde? Wo bleibt der ursprüngliche Glanz unserer abgetragenen Kleidungsstücke? Ein guter Teil davon bewegt sich dauernd als Staub in der Luft. Dazu kommen jene unendlich kleinen pflanzlichen Gebilde, wie die Hefezelle, deren Durchmesser kaum ein Hundertstel Millimeter beträgt und die dennoch ein Riese gegenüber den anderen, den Bakterien, ist, unter denen eine scharfsinnige Forschung die Erreger heimtückischer Krankheiten aufgefunden und erkannt hat.

Jedoch, es ist nicht meine Absicht, ein Gebiet zu betreten, das uns ferner liegt. Lassen Sie mich vielmehr zum Schluß noch einmal zusammenfassen, was unsere heutigen Beobachtungen und Erfahrungen uns lehrten. Es läßt sich in wenigen Worten ausdrücken: Die Luft, die reine, staubfreie, atmosphärische Luft,

besteht vorwiegend aus Sauerstoff und Stickstoff (nebst wenig Argon), sie enthält geringe Mengen Wasserdampf und Kohlensäure (zusammen nicht ganz ein Prozent) und Spuren (einige Millionstel) Salpetersäure, Ammoniak und Ozon.

Masse der Atmosphäre. Gleichbleibende Zusammensetzung der Luft.

Scheinbar ist das Luftmeer, das unsere Erde umgiebt, unermeßlich, doch wissen wir, daß es eine Grenze hat, die man aus den Ablenkungen, welche die Sonnenstrahlen, ehe sie zu uns gelangen, erfahren, auf etwa zehn Meilen berechnet hat. Der Luft über uns hält das Quecksilber im Barometer das Gleichgewicht. Wie in diesem die Quecksilbersäule schwankt, ändert sich die Höhe und mit ihr die Schwere der Luftschicht.

Die Gesamtmasse der Atmosphäre läßt sich berechnen, sie beträgt:

5 262 400 000 000 000 Meter-Centner
oder annähernd 10 000 000 Kubik-Meilen.

Das Gewicht einer Luftsäule über uns ist von ihrem Querschnitt abhängig; eine vom Meeresspiegel bis zur Grenze der Atmosphäre aufragende Luftsäule, deren Querschnitt einen Quadratcentimeter beträgt, wiegt rund ein Kilo.

Von dieser Masse der Atmosphäre ist der Bruchteil von nicht ganz ein Prozent, der auf den Wasserdampf kommt, schon eine gewaltige Größe und wir verstehen leicht, wie dieser Wasserdampf, durch Winde zusammengetragen und durch Abkühlung zu flüssigem Wasser verdichtet, wochenlange Regenperioden veranlassen kann, und daß durch gesteigerte Verdampfung von Wasser in wärmeren Gegenden ein Ausgleich zustande kommt.

Im Hinblick hierauf regt sich fast unwillkürlich in uns die Frage: wie steht es in dieser Hinsicht mit den übrigen Bestandteilen der Luft? Zumal wir wissen, daß der Sauerstoff den regsten Anteil an den mannigfachsten chemischen Vorgängen, die sich in der Natur abspielen, hat. Bei jeder Verbrennung wird Sauerstoff verbraucht, mit jedem Atemzuge, den wir machen, entziehen wir der Luft Sauerstoff. Muß das nicht, so lautet die nahe liegende Frage, im Laufe der Zeiten eine Änderung in der Zusammensetzung der Luft zur Folge haben? Und doch haben die eingehendsten Untersuchungen gelehrt, daß dies nicht

der Fall ist. Überall hat die Luft — ich spreche nur von der Luft draußen im Freien — die gleiche Zusammensetzung, im Süden, wie im Norden, auf dem Lande, wie über dem Meere, auf den Bergen, wie in den Thälern — und mehr noch, soweit unsere Kenntnis zurückreicht, hat die Luft immer die gleiche Zusammensetzung gehabt. Die Luft, welche in den Thränenkrügen von Pompeji und Herkulanum uns aufbewahrt wurde achtzehn Jahrhunderte lang, hatte dieselbe Zusammensetzung wie die Luft von heute. Der ewige Ausgleich des Sauerstoffgehaltes ist, worauf wir später noch einmal zurückkommen werden, begründet in der Wechselwirkung zwischen der Pflanzen- und Tierwelt.

III. Das Wasser.

Die Änderung des Aggregatzustandes des Wassers. Mechanische Wirkung beim Gefrieren. Destilliertes Wasser; Meer-, Brunnen-, Regenwasser. Kreislauf des Wassers in der Natur. Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (Knallgas). Das Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff. Zersetzung des Wassers durch Kalium und Natrium. Darstellung, Eigenschaften und Vorkommen des Wasserstoffs. Bedeutung des Wassers für die Vorgänge in der Natur.

Die Änderung des Aggregatzustandes des Wassers. Mechanische Wirkungen beim Gefrieren.

Bei unseren einleitenden Betrachtungen wählten wir das Wasser, welches uns heute ausschließlich beschäftigen soll, als Ausgangspunkt der Erörterungen über die Eigenschaften der Körper im festen, flüssigen und gasförmigen Zustande.

Es ist bekannt, daß sich die Körper in der Wärme ausdehnen und in der Kälte zusammenziehen. Aber die Wärmezuführung oder Wärmeentziehung vermag noch eine weitere, plötzliche Änderung, die Änderung des Aggregatzustandes herbeizuführen.

Die Eisdecke, welche im Winter auf den Seeen und Flüssen lagert, bekommt, wenn die Kälte zunimmt, Sprünge, die sich oft zu breiten Spalten erweitern, und der Hafffischer, der seinem Gewerbe nachgeht, kennt ihre Gefahren. Sobald es wärmer wird, dehnt sich das Eis, wie jeder andere feste Körper, wieder aus, aber davon merken wir nichts, weil dann sehr bald das Eis schmilzt. Alle Wärme, die dem schmelzenden Eise zugeführt wird, verschwindet scheinbar, sie wird verbraucht, um den Übergang vom festen in den flüssigen Zustand zu bewirken. Im festen Eise befinden sich die kleinsten Teilchen in einer starren, unbeweglichen Lage, im flüssigen Wasser sind sie leicht beweglich. Um die kleinsten Teilchen aus der starren Lage zu bringen, ist ein Kraftaufwand, eine Arbeit erforderlich,

die an Stelle der verschwundenen Wärme tritt. Erst wenn alles Eis geschmolzen ist, findet bei weiterer Wärmezufuhr eine Temperaturerhöhung des Wassers statt.

Wenn wir das Schmelzen eines Eisstückes aufmerksam verfolgen, beobachten wir eine höchst merkwürdige Erscheinung. Das Schmelzwasser nimmt einen kleineren Raum ein, als vordem das Eis inne hatte. Wenn das Eis, welches in dem Glascylinder I (Fig. 37) genau bis zur Marke reicht, aufgetaut sein wird, werden wir deutlich sehen, daß das Schmelzwasser den Cylinder nicht mehr so weit anfüllt, wie jetzt das Eis, es nimmt dann einen um ein Elftel kleineren Raum ein II (Fig. 37). Und wenn wir rückwärts das Wasser gefrieren machen, dehnt es sich wieder in gleicher Weise aus. In einem Gefäße, welches mit Wasser vollständig angefüllt und zugleich fest verschlossen ist, findet das Eis nicht mehr genügenden Raum und zersprengt infolge der Ausdehnung das Gefäß. Der Kraft, welche das Wasser unter diesen Umständen ausübt, widersteht nichts. Eiserne Bomben zerspringen wie Glas. Hier sind derartige Bruchstücke (Fig. 38). Wir wollen den Vorgang

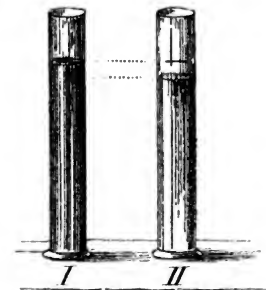
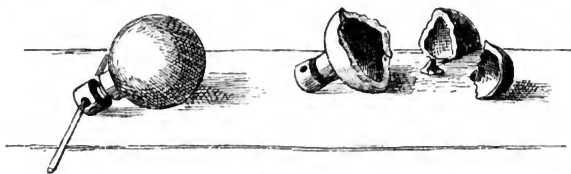


Fig. 37. Das Schmelzwasser nimmt einen geringeren Raum ein, als das Eis vorher inne hatte.


Fig. 38.
Sprengen einer eisernen Bombe durch Gefrierenmachen des eingeschlossenen Wassers.

selbst beobachten und eine solche Bombe aus Gußeisen mit Wasser füllen und fest verschließen. Um dies zu ermöglichen, habe ich an der Bombe einen kurzen Hals anbringen lassen, in welchem ein Schraubengewinde eingeschnitten ist. Die Schraube, die genau in dasselbe paßt, hat am Kopfe ein Loch, durch das ich einen Eisenstab stecke, mit dem ich die Schraube fest anziehe.

Nun wollen wir die Bombe soweit abkühlen, daß das Wasser im Innern gefriert. Wir erreichen dies, wenn wir die Bombe in eine Mischung von Eis und Kochsalz legen. In inniger Berührung mit dem Salz wird das Eis flüssig. Die Wärme, welche zur Verflüssigung des Eises erforderlich ist, wird der nächsten Umgebung, also auch der Bombe, die wir in die Mischung legten, entzogen. Es findet hierbei eine Temperaturerniedrigung statt, welche allmählich das Wasser in der Bombe zum Gefrieren bringen wird.

Die eigentümliche Erscheinung beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand sich plötzlich auszudehnen, zeigen von den einfachen Körpern nur zwei: das Wasser und das Wismut. Das spröde Metall findet für sich nicht Verwendung, weil es beim Erkalten die Gußformen zersprengen würde. Durch Zusammenschmelzen mit Blei, Zinn, Antimon und anderen Metallen erhält man Legierungen, welche die Formen bis in die kleinsten Einzelheiten scharf ausfüllen ohne sie zu sprengen, sehr hart sind und oft einen so niedrigen Schmelzpunkt haben, daß man die geschmolzene Masse unbedenklich in Formen von Holz (Herstellung der Clichés) oder von Papier (Herstellung von Druckwalzen für Rotationsmaschinen) gießen kann. Das Lipowitzmetall schmilzt bei 60°, es besteht aus: 15 Teilen Wismut, 8 Teilen Blei, 4 Teilen Zinn und 3 Teilen Cadmium.

Das ausnahmsweise Verhalten des Wassers ist von entscheidendem Einfluß auf die Vorgänge in der Natur. Das Eis nimmt einen größeren Raum ein, als die gleiche Gewichtsmenge Wasser. Hieraus folgt, daß Eis leichter ist als Wasser. Das Eis schwimmt daher auf dem Wasser. Wäre dem nicht so, würde sich das Wasser wie andere Körper beim Festwerden zusammenziehen, so würde Eis schwerer sein als Wasser und in demselben untersinken, wie ein Stück Blei untersinkt, wenn wir es in einen Tiegel mit geschmolzenem Blei werfen. Die Eisdecke, welche der erste Frost im Winter auf den Gewässern veranlaßt, würde herabsinken bis auf den Grund, bald würde eine neue Eisschicht nachfolgen und im Lauf eines Winters würden allmählich die Flüsse und Seeen in ihrer ganzen Tiefe zu Eis erstarren, das auch der wärmste Sommer ebenso wenig völlig aufzutauen vermöchte, wie die Gletscher in den Gebirgsthälern. Die Folge wäre die Vernichtung alles Lebens in den Gewässern, welches unter der schützenden Eisdecke erhalten bleibt.

Merkwürdigerweise zieht sich auch das Eiswasser beim Erwärmen noch ein wenig zusammen, erst wenn es die Temperatur von 4° C erreicht hat, dehnt es sich aus und vergrößert sein Volum bis 100° C um 4 Prozent. Dann fängt es an zu kochen und ändert nun seine Temperatur nicht mehr. Alle Wärme, die dem kochenden Wasser zugeführt wird, verschwindet scheinbar, ganz ähnlich, wie beim Schmelzprozeß. Bei der Verwandlung des Wassers in Dampf findet eine plötzliche Ausdehnung statt. Die Kraft, die Arbeit, welche erforderlich ist, diese Ausdehnung zu bewirken, wird erzeugt durch die Wärme, die wir dem kochenden Wasser zuführen. 1 l (Kilo) Wasser giebt 1700 l Dampf.

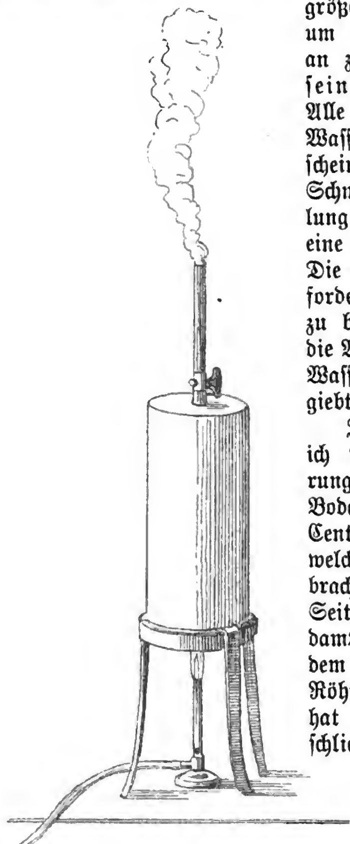


Fig. 39. Der Kessel ist mit Wasserdampf angefüllt.

In den Kessel (Fig. 39) goß ich vor Beginn unserer Erörterungen etwas Wasser, das den Boden des Kessels nur wenige Centimeter bedeckte. Die Flamme, welche ich unter den Kessel schob, brachte das Wasser zum Sieden. Seit einiger Zeit strömt Wasserdampf, der zunächst die Luft aus dem Kessel austrieb, durch die Röhre oben am Deckel. Die Röhre hat einen Hahn, den ich verschließen kann. Würde ich dies thun und die Flamme unter dem Kessel brennen lassen, so würden die fortdauernd entstehenden Dampfmengen nicht mehr entweichen können. In ihrem Bestreben zu entweichen, würden sie auf die Wandungen des Kessels mit unaufhaltsam gesteigerter Kraft drücken, bis sie endlich ihre Fesseln mit furchtbarer Gewalt sprengen und uns

im kleinen einen ähnlichen Vorgang vor Augen führen würden, wie die leider immer noch bisweilen vorkommenden Dampfkesselexplosionen mit ihren traurigen Bildern der Verwüstung.

Ich werde den Hahn schließen und zugleich die Flamme entfernen. Der Kessel ist jetzt mit Wasserdampf gefüllt, zu dem kein weiterer hinzukommen kann, weil die Erwärmung aufgehört hat. Wir wollen nun den Wasserdampf im Innern des Kessels durch rasche Abkühlung plötzlich wieder in flüssiges



Fig. 40. Der Kessel wird in demselben Augenblick, in welchem sich der Wasserdampf infolge der Abkühlung zu flüssigem Wasser verdichtet, durch das Gewicht der Luft zusammengedrückt.

Wasser zurück verwandeln, indem wir von außen kaltes Wasser auf den Kessel gießen! (Fig. 40.)

Der Kessel ist in sich zusammengeknickt, mit dumpfem Knall schlugen die Innenwandungen aneinander, eine offenbar gewaltige Kraft hat sie zusammengepreßt! Wenn uns diese Erscheinung im ersten Augenblick auch überraschte, so liegen doch alle Ursachen, die sie bewirkten, klar vor unserem geistigen Auge. In demselben Moment, in dem sich der Wasserdampf im Kessel infolge der Abkühlung wieder zu flüssigem Wasser verdichtete, verringerte sich sein Volum auf $^1/_{1700}$, einen im Vergleich zu

dem Inhalt des Kessels verschwindend kleinen Raum. Außer einigen Tropfen Wasser befand sich also nichts in dem Kessel. Von außen drückte aber nach wie vor die Luft, und zwar die ganze Luftsäule über uns — denn die Luft in dem Raume, in dem wir uns befinden, steht durch Fenster und Thüren in fortdauernder Verbindung mit der Luft draußen im Freien. Das Gewicht einer Luftsäule von 1 qcm beträgt ein 1 kg wie wir wissen. Der Kessel hatte einen Umfang von 40 cm und eine Höhe von 25 cm. Soviel Quadratcentimeter die Oberfläche des Kessels betrug, so viel Kilo — mehr wie tausend — drückten auf die Wandungen des Kessels, und diesem Drucke vermochten sie nicht zu widerstehen. Dieser Versuch bringt es uns überzeugend zur Anschauung, daß die Luft über uns ein Gewicht hat! Als die Luft gleichzeitig von innen und von außen auf die Wandungen des Kessels drückte, konnte eine Veränderung der Form desselben nicht stattfinden. — Das, was wir sahen, würden wir auch beobachtet haben, wenn wir den Kessel mit einer Pumpe luftleer gemacht haben würden.

Destilliertes Wasser. Meer-, Brunnen-, Regenwasser. Kreislauf des Wassers in der Natur.

Die Wiederverdichtung von Wasserdampf zu flüssigem Wasser durch Abkühlung geht in einer andern, geregelten Art und Weise hier vor unseren Augen vor sich (Fig. 41). In dem Glaskolben *A* kocht Wasser. Das von oben in den Kolben eingesenkte, durch den Kork *a* festgehaltene Thermometer steht unverrückt auf 100° C. Der Wasserdampf entweicht durch das seitliche Rohr *b*, dessen Verlängerung von einem Glasmantel umgeben ist. Durch denselben fließt beständig kaltes Wasser, es tritt durch den Schlauch *c*, welcher mit der Wasserleitung in Verbindung steht, ein und strömt durch den anderen Schlauch *d* wieder ab. In dem oberen, von dem Kühlmantel *B* umgebenen Teil des Glasrohres verflüssigt sich der Wasserdampf, die Wassertröpfchen sammeln sich, rinnen herab und tropfen in das untergestellte Glas *C*. — Diesen Vorgang, welchen der Chemiker vielfach zur Reindarstellung flüchtiger Körper benutzt, nennt man „destillieren", das Produkt ist in dem vorliegenden Falle destilliertes Wasser.

Wenn wir destilliertes Wasser in einem sauberen Gefäße

— ich wähle hierzu eine Platinschale — verdampfen, so bleibt nichts zurück, wie es ja auch nicht anders sein kann, da alles vordem dampfförmig war. Anders ist es, wenn wir Brunnenwasser in gleicher Weise verdampfen, dann bleibt in der Schale ein fester Rückstand zurück. Das sind die Stoffe, welche das Wasser in Berührung mit dem Erdreich aufgelöst hat.

Wasser, das wir unachtsamerweise verschütten, verschwindet allmählich, es wird dampfförmig und mischt sich der Luft bei. Das Handtuch, das wir nach dem Händewaschen benutzen, trocknet wieder, die Pfützen und Lachen, die der Gewitterregen zurück-

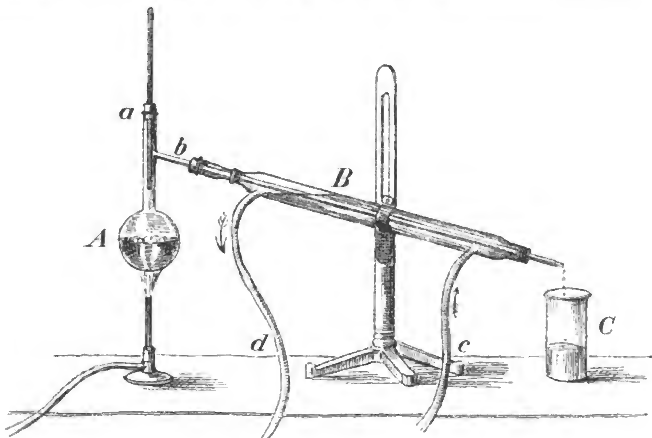


Fig. 41. Destillieren von Wasser.

läßt, verlieren sich um so schneller, je wärmer die Sonne darauf scheint. Der Wasserdampf steigt mit der Luft empor, verdichtet sich in den höheren kälteren Regionen zu Wolken, die als Regen oder Schnee wieder zur Erde fallen. Hier dringen die Wassermassen ein, bis sie eine undurchlässige Schicht von Lehm, Thon oder felsiges Gestein erreichen, darauf rinnen sie weiter und treten als Quelle wieder zu Tage oder sammeln sich in den von uns künstlich angelegten Brunnen an. Bei diesem unterirdischen Laufe nimmt das Wasser auf, was es an löslichen Stoffen findet. Bäche und Flüsse tragen es dem Meere zu. Während verflossener Jahrtausende ist hier das am leichtesten

Lösliche aufgehäuft, was das Wasser bei seinem ewigen Kreislaufe dem Erdreich entzogen und den Ozeanen zugetragen hat. So erklärt sich der Salzgehalt des Meerwassers, der über drei Prozent beträgt, etwa ein Dreißigstel der gewaltigen Masse der Ozeane besteht aus solchen löslichen Salzen. Heute findet das Wasser — mit Ausnahme derjenigen Orte, wo es infolge besonderer Bodenbeschaffenheit in ungemessene Tiefen dringt und als Mineralquelle wieder zu Tage tritt — unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur noch wenige lösliche Stoffe im Erdreich vor und ist bei seiner lösenden Arbeit hauptsächlich auf die Beihilfe der im Boden unausgesetzt stattfindenden Verwitterungs- und Verwesungsvorgänge angewiesen. Selten enthalten 10000 Teile Brunnenwasser mehr als fünf Teile feste Stoffe gelöst, Fluß- und Teichwasser in der Regel nur die Hälfte. Das reinste in der Natur vorkommende Wasser ist das Regenwasser, welches nur die gasförmigen Bestandteile der Luft gelöst enthält, aber auch in derselben schwebend enthaltenen Staub, Ruß u. s. w. mit sich niederreißt.

1 l Wasser enthält feste Stoffe:

Totes Meer	250 g
Meerwasser (Atlant. Ozean)	34 g
Ostsee	5 g
Mineralwasser	0,6 bis 37,7 g
Brunnenwasser	0,2 bis 0,5 g
Fluß- und Teichwasser	0,1 bis 0,2 g
Regenwasser	0,0 g

Wenn das Erdreich, wie es in der Nähe menschlicher Wohnstätten der Fall zu sein pflegt, verunreinigt ist durch Verwesungs- und Zersetzungsprodukte animalischen Ursprungs, so transportiert das Wasser auch diese, soweit sie löslich sind, in die benachbarten Brunnen. Es ist Sache des Chemikers, wo diese Möglichkeit vorliegt, durch eine Untersuchung festzustellen, ob sich in dem Wasser derartige Zersetzungsprodukte vorfinden, und wenn es der Fall ist, das Wasser als zu Genußzwecken untauglich zu bezeichnen.

Im gewöhnlichen Leben verstehen wir daher unter einem guten, reinen Wasser, wie es uns die Natur liefert, keineswegs absolut chemisch reines Wasser, sondern ein solches, welches frei von den Beimengungen ist, die sich auf die angedeuteten

Zersetzungsvorgänge zurückführen lassen. Das chemisch reine, das destillierte Wasser schmeckt fade, es hat nicht den erfrischenden Geschmack eines guten Trinkwassers, der bedingt wird durch die darin, wenn auch nur in geringen Mengen gelösten Salze und Gase.

Der dumpfe Knall, den wir soeben hörten, wurde durch das Platzen der Bombe verursacht, die wir vorhin in die Kältemischung legten. Es war gut, den Eimer zu bedecken, denn ich hörte, wie ein Sprengstück an den Deckel schlug, der es verhinderte, weiter fort zu fliegen und Schaden anzurichten. Nur wenige Stücke sind beim Bersten der Bombe entstanden, alle aber finden wir beim genaueren Betrachten an den Innenwandungen mit einer festhaftenden Eisschicht bedeckt.

Wenn in sehr strengen Winternächten im Waschbecken Eisnadeln sich bilden, dann friert auch in den Leitungsröhren das Wasser. Die Röhren werden dabei nicht in einzelne Stücke zertrümmert, weil sie aus Schmiedeeisen sind, in der Regel reißen sie der Länge nach auf*); man merkt den Schaden erst, wenn Tauwetter eintritt und das Wasser aus den Rissen hervorquillt.

Auch die festesten Felsen verwittern allmählich. Eine Reihe von Ursachen bewirken dies, eine davon ist der Frost. Das Wasser, welches in die Spalten, in die feinsten Risse und Poren eindringt, dehnt sich beim Erstarren zu Eis aus und lockert auf diese Weise die Oberfläche der härtesten Gesteine, bis sie im Laufe der Zeiten in Trümmer zerfallen.

Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom (Knallgas).

Die bisher betrachteten Eigenschaften des Wassers waren solche, die wir als physikalische zu bezeichnen haben. Wenn wir uns nun die Frage vorlegen: woraus besteht das Wasser, welche chemische Zusammensetzung hat das Wasser? so kann hierbei nur das reine, destillierte Wasser in Betracht kommen.

Die Zerlegung des Wassers in seine Bestandteile läßt sich auf ungemein einfache Weise bewerkstelligen. Dasjenige Hilfsmittel, dessen wir uns bisher vorzugsweise zur Herbeiführung

*) Es ist daher ratsam bei starkem Frost die Wasserleitung über Nacht abzusperren und das Wasser aus einem an der tiefsten Stelle der Hausleitung angebrachten Hahn auslaufen zu lassen.

chemischer Vorgänge bedienten, war die Wärme. Unter dem Einfluß der Wärme sahen wir das Kupfer sich mit Sauerstoff vereinigen, das Quecksilberoxyd entstehen und wieder zerfallen und manches andere. Wie die Wärme vermag das Licht, vermag der elektrische Strom chemische Vorgänge zu veranlassen. Bei den folgenden Versuchen wollen wir uns des elektrischen Stromes bedienen.

Die beiden Kupferdrähte, die ich in die Hände nehme, stehen mit einer Batterie *E E* (Fig. 42) in Verbindung. An den Enden der Kupferdrähte sind zollbreite Streifen von Platinblech befestigt. Solche Ausläufer der Leitungsdrähte nennt man Elektroden. Nähere ich die beiden Elektroden einander bis sie sich berühren, so ist der Stromkreis geschlossen und der elektrische Strom fließt durch die Drähte. Wenn ich jetzt die Elektroden in ein Glas mit Wasser tauchte (Fig. 42), so zwinge ich den elektrischen Strom, seinen Weg von der einen Elektrode zur anderen durch das Wasser zu nehmen. Was beobachten wir hierbei? Auch aus der Ferne werden Sie deutlich sehen können, daß Gasblasen aus dem Wasser aufsteigen, die sich fortwährend von beiden Elektroden loslösen, so lange der Strom durch das Wasser geht.

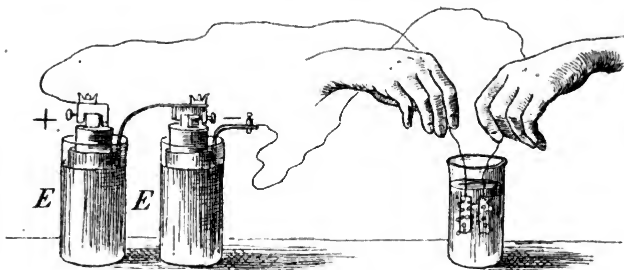


Fig. 42. Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom.

Wir wollen die Gase in einem Fläschchen auffammeln! Zu diesem Zwecke müssen wir den Versuch anders disponieren, wir müssen ein geschlossenes Gefäß benutzen, aus dem wir die Gase dahin leiten können, wo wir sie haben wollen. Hier ist ein solches Gefäß, Wasser und die Elektroden befinden sich bereits in demselben (*A* Fig. 43). Schließen wir den Strom=

kreis, indem wir die Elektroden mit den Leitungsdrähten der Batterie verbinden, so beginnt sogleich die Gasentwickelung. Die Gase entweichen durch das Glasrohr *a* und sammeln sich in dem kleinen Fläschchen *F* an. Damit nichts verloren gehe, verschließe ich das Fläschchen, nachdem es mit den Gasen ganz gefüllt ist, unter Wasser mit dem Korkstopfen *b*. Meine Absicht ist, die Gase auf ihre Brennbarkeit zu prüfen. Ich werde den Stopfen lüften und sogleich darauf die Öffnung des Fläschchens einer Flamme nähern. Der Versuch ist mit der geringen Gasmenge ganz ungefährlich, da man aber keine Vorsicht, die man anwenden kann, außer Acht lassen soll, schiebe ich die aus Drahtnetz gefertigte Kappe *K* über das Fläschchen, bevor ich den Versuch anstelle. Bitte, erschrecken Sie nicht, meine Damen und

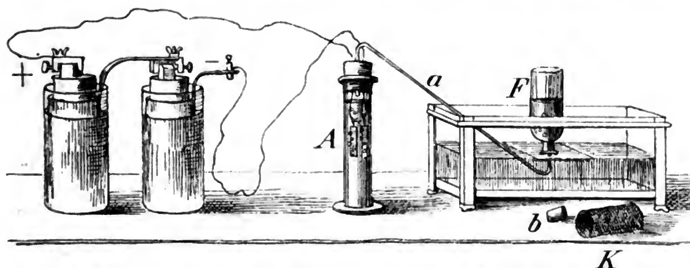


Fig. 43. Aufsammeln der bei der elektrolytischen Zersetzung des Wassers entstehenden Gase.

Herren, Sie werden einen starken Knall hören! (Der Stopfen wird entfernt und die Öffnung des Fläschchens einer Flamme genähert.)

Der Knall war so stark, daß wir, obgleich darauf vorbereitet, uns eines unwillkürlichen Zusammenzuckens nicht erwehren konnten. Wir entnehmen daraus, daß Versuche mit diesem Gasgemisch die allergrößte Vorsicht erfordern und wollen, um ungefährdet zu unserem Ziele zu gelangen, einen anderen Weg einschlagen.

Das Wasser besteht aus Sauerstoff und Wasserstoff.

Die Gase, in welche der elektrische Strom das Wasser zerlegt, entwickeln sich gleichzeitig an beiden Elektroden. Es liegt daher nahe, eine getrennte Aufsammlung der Gase

zu bewirken, so daß wir die an jeder Elektrode auftretenden Gase für sich untersuchen können. Mit Hilfe V förmig gebogener Röhren (Fig. 44), wie sie A. W. Hofmann zuerst benutzte, läßt sich dies leicht erreichen. Der eine Schenkel *A* der Röhren ist offen, der andere *B* geschlossen. In jedem Schenkel befindet sich eine Elektrode, die wir I (Fig. 44) mit den Kupferdrähten der Batterie in Verbindung bringen wollen. Das an der im offenen Schenkel befindlichen Elektrode freiwerdende Gas entweicht in die Luft, während das an der anderen Elektrode auftretende Gas in dem geschlossenen Schenkel sich ansammelt. Daneben steht noch ein zweiter, genau ebenso beschaffener Apparat (II). Wenn wir an diesen unsere Drähte

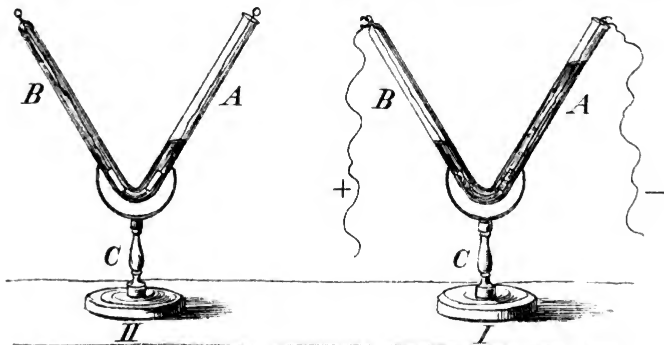


Fig. 44. Getrennte Auffammlung der an jeder der beiden Elektroden bei der Zersetzung des Wassers entstehenden Gase.

hängen und zwar umgekehrt so, daß wir den vom — Pol der Batterie ausgehenden Leitungsdraht, der jetzt mit der Elektrode im offenen Schenkel *A* in Verbindung ist, an die Elektrode im geschlossenen Schenkel *B* des Apparates II hängen und den vom + Pol kommenden Draht von dem geschlossenen Schenkel *B* I wegnehmen und an den offenen Schenkel *A* II bringen, so wird sich in dem geschlossenen Schenkel des Apparates II das Gas ansammeln, welches im Apparate I in die Luft entweicht.

Wir wollen nun zunächst das Gas, welches sich im Apparat I angesammelt hat, untersuchen. Ich nehme die Röhre aus dem Stative *C*, entferne die Elektrode aus dem offenen Schenkel, fülle denselben mit Wasser voll, halte die Öffnung

mit dem Daumen zu und führe durch eine Wendung der Röhre das Gas aus dem Schenkel *B* in den Schenkel *A* über. Um zu erfahren, ob das Gas brennbar ist, nähere ich eine Flamme der Mündung des Schenkels *A*, jetzt erst den an sie immer noch fest angedrückten Daumen lüftend. Das Gas entzündet sich nicht, es ist also nicht brennbar. Wir wollen einen glimmenden Span in das Gas einführen! Sofort entzündet er sich, er verbrennt mit lebhaftem Glanze in dem Gase (Fig. 45). Wir sehen die bekannte Erscheinung, die wir als charakteristisch für den Sauerstoff kennen lernten. Auch alle anderen Eigenschaften des Gases stimmen mit denen des Sauerstoffs überein, es ist Sauerstoff.

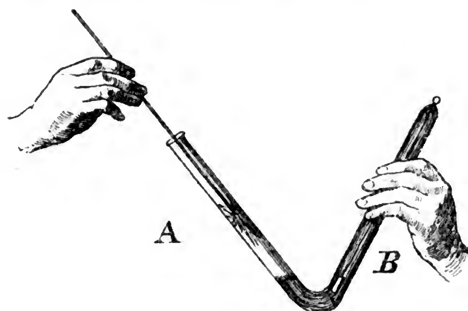


Fig. 45. Untersuchung des an der positiven Elektrode entstandenen Gases.

Wenn wir das andere Gas, welches sich mittlerweile in dem Apparat II angesammelt hat, in gleicher Weise untersuchen, so werden wir sehen, daß es sich ganz anders verhält. Es entzündet sich, wenn wir es einer Flamme nähern und verbrennt in wenig Augenblicken, ohne daß wir es recht gewahr werden, mit blauer, kaum sichtbarer Flamme. Dieses brennbare Gas läßt sich nicht weiter zerlegen, es ist ein Grundstoff, welcher den Namen Wasserstoff erhalten hat.

Unsere Beobachtungen führen mithin zu dem Schlusse: Beim Durchgang des elektrischen Stromes durch Wasser entwickelt sich an der einen (positiven) Elektrode Sauerstoff, an der anderen (negativen) Wasserstoff.

Hier steht ein Apparat (Fig. 46), welcher es gestattet, den bei der Zersetzung des Wassers frei werdenden Sauerstoff und Wasserstoff gleichzeitig und gesondert aufzusammeln. Die beiden Schenkel mit den Elektroden im unteren Teile sind oben durch Glashähne verschlossen, das dritte Rohr mit der kugelförmigen Erweiterung hat den Zweck, das Wasser, welches die freiwerdenden Gase aus den Schenkeln *A* und *B* verdrängen, aufzunehmen. Die Zersetzung des Wassers beginnt, sobald wir die Elektroden mit den Leitungsdrähten verbinden. Diese Anordnung gestattet uns, ein Urteil über die Raumverhältnisse, in welchen die beiden Gase bei der Zersetzung des Wassers auftreten, zu erhalten. Ohne weiteres sehen wir, daß in dem Schenkel *A* die Gasblasen viel reichlicher aufsteigen, wie in *B*. Genaue Messungen haben ergeben, daß die Raummenge des freiwerdenden Wasserstoffs genau doppelt so groß ist, wie die gleichzeitig entstehende Sauerstoffmenge.

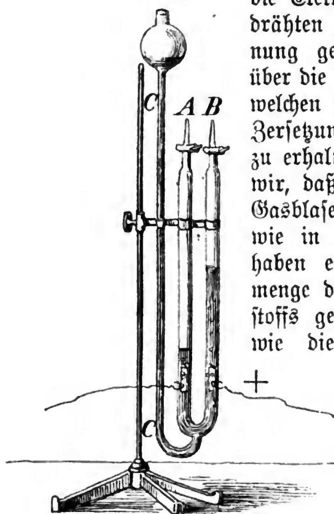


Fig. 46. Elektrolytischer Wasserzersetzungs-Apparat.

Eine weitere Frage, die sich uns aufdrängt, ist: Besteht das Wasser nur aus Sauerstoff und Wasserstoff? Diese Frage läßt sich folgendermaßen experimentell beantworten. Wenn es gelingt, Sauerstoff und Wasserstoff wieder chemisch miteinander zu verbinden, und wenn das Produkt der Wiedervereinigung beider Gase dieselben Eigenschaften wie das Wasser hat, dann kann das Wasser nur aus den genannten Grundstoffen bestehen. Denn wäre im Wasser noch ein anderer Bestandteil enthalten, dann könnten wir ihn auch nicht entbehren bei dem Wiederaufbau des Ganzen aus seinen Elementen.

Den Versuch habe ich bereits vorbereitet. In der Glasröhre *A*1 (Fig. 47) befindet sich über Quecksilber abgesperrt ein

Gasgemisch, welches nur Wasserstoff und Sauerstoff enthält und zwar genau in demselben Verhältnis, in dem wir beide Gase aus dem Wasser entstehen sahen: Zwei Raumteile Wasserstoff und einen Raumteil Sauerstoff. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die beiden Elemente, selbst wenn man nur einen kleinen Bruchteil der Mischung zum Glühen erhitzt, sich plötzlich explosionsartig miteinander verbinden. Wir könnten also den oberen Teil der Glasröhre, welcher die Gasmischung enthält, mit einer Flamme erhitzen, aber es würde eine geraume Zeit dauern, den erforderlichen Hitzegrad zu erzielen. Viel einfacher erreichen wir unseren Zweck, wenn wir uns eines anderen Hilfsmittels,

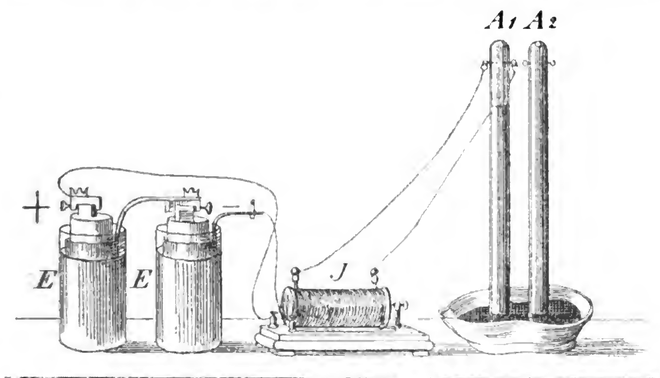


Fig. 47. Wiedervereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser durch den elektrischen Funken.

des elektrischen Funkens bedienen. Die beiden kurzen Platindrähtchen, welche in der Kuppe der Glasröhre eingeschmolzen sind, reichen nur ein wenig ins Innere der Röhre, so daß sich die Enden nicht berühren, außen sind sie ösenförmig umgebogen. Bevor wir jedoch die Leitungsdrähte, welche uns den Strom zur Erzeugung des elektrischen Funkens zuführen sollen, in die Ösen hängen, verschließe ich die untere, auf dem Boden der Quecksilberwanne ruhende Öffnung der Röhre fest mit einem Gummistopfen, um zu verhindern, daß bei der Explosion das Quecksilber aus der Röhre geschleudert wird. Zwischen unserem Apparat und der Batterie (*EE*) ist ein Funkeninduktor (*J*) ein-

geschaltet, der primäre Strom wird durch denselben in einen sekundären Induktionsstrom verwandelt, der Funken von beträchtlicher Länge giebt.

In demselben Moment, in dem ich den Stromkreis schließe, springt der Funke zwischen den Enden der Platindrähtchen über, die Gase in der Röhre leuchten blitzartig auf, und zugleich erscheinen die Innenwandungen wie mit Wasserdampf beschlagen. Ich entferne den Stopfen aus der unteren Öffnung der Röhre, sofort schnellt das Quecksilber empor. Das Gasgemisch ist verschwunden, den Raum, welchen es zuvor inne hatte, füllt jetzt das Quecksilber aus (*A*2, Fig. 47) und wenn wir genau zusehen, beobachten wir auf demselben, kaum so groß wie eine Stecknadelkuppe, ein kleines Tröpfchen schwimmend, das, wenn wir es abkühlen, fest wird, das beim Erwärmen verdampft und alle Eigenschaften des Wassers zeigt. Weil also bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff Wasser entsteht, schließen wir rückwärts: Wasser besteht nur aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Die Vereinigung beider Gase findet in äußerst energischer Weise statt. Da die Röhre unten fest verschlossen war, konnte keine Raumveränderung, infolgedessen auch keine Schallwirkung auftreten. Als wir aber die Mündung des Fläschchens, in dem wir die bei der Zersetzung des Wassers freigewordenen Gase auffammelten, einer Flamme näherten, konnte der entstandene, durch die Reaktionswärme erhitzte Wasserdampf sich ungehindert ausdehnen und einen Augenblick die Luft weit fortschleudern. Die sofort wieder zusammenschlagenden Luftflächen und die in das Fläschchen hineinstürzende Luft veranlaßten den Knall, den wir hörten. Ein solches Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff hat man daher Knallgas genannt. Es ist davor zu warnen, ohne besondere Vorsichtsmaßregeln größere Mengen Knallgas zu entzünden.

Zersetzung des Wassers durch Kalium und Natrium.

Der Wasserstoff läßt sich aus dem Wasser in mannigfacher Art freimachen, insbesondere durch die Einwirkung verschiedener Metalle auf das Wasser. Schon bei gewöhnlicher Temperatur wirken gewisse Metalle auf das Wasser ein. In unserer ersten Zusammenkunft lernten wir die Einwirkung des Kaliums

auf Wasser kennen. Wir wollen den Versuch wiederholen! (Fig. 48.) Ein ganz ähnliches Metall ist das Natrium, das im Kochsalz, in der Soda und in vielen anderen Salzen enthalten ist. Von dem Barren, der mir zur Verfügung steht, schneide ich ein kleines Stück mit dem Messer ab und werfe es, wie vorhin das Kalium, in ein Glas mit Wasser. Auch das Natrium schmilzt zu einer Kugel, die auf dem Wasser hin und her fährt, ohne jedoch ins Glühen zu kommen, immer kleiner wird und bald mit zischendem Geräusch verschwindet. Ich will nun versuchen, den Vorgang unter Wasser zu zeigen. Mit Kalium wage ich den Versuch nicht anzustellen, weil er infolge der energischeren Einwirkung des Kaliums nicht ungefährlich ist. Wenn ich ein kleines Stückchen Natrium mit einer Stricknadel aufspieße und rasch in das Wasser der Wanne (Fig. 49) tauche, so löst es sich los und steigt auf, da es leichter



Fig. 48. Einwirkung von Kalium auf Wasser im offenen Glase.

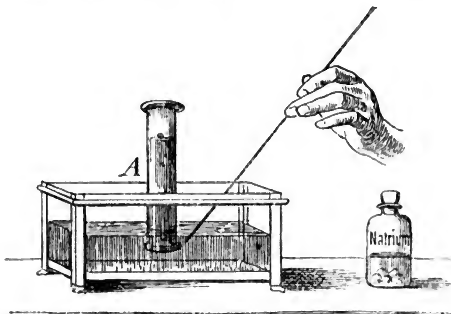


Fig. 49. Bei der Einwirkung von Natrium auf Wasser entsteht ein Gas.

als Wasser ist. Es ist mir in der That gelungen, das Natrium genau unter die Mündung des Cylinders *A* zu bringen, in dem es jetzt schwimmt. Dabei beobachten wir eine höchst merkwürdige Erscheinung: In dem Cylinder sammelt sich ein Gas an, dessen

Menge fortdauernd zunimmt und das Wasser aus dem Cylinder solange verdrängt, bis die ganz ebenso wie im offenen Glase immer kleiner werdende Natriumkugel verschwunden ist. Dieses Gas erweist sich, wenn wir es untersuchen, als brennbar und ist nichts anderes als Wasserstoff. Bei der Einwirkung des Natriums auf Wasser verbindet sich der Sauerstoff mit dem Metall, und der Wasserstoff wird frei.

Darstellung, Eigenschaften und Vorkommen des Wasserstoffs. Bedeutung des Wassers für die Vorgänge in der Natur.

In ganz ähnlicher Weise wirken Eisen, Zink und andere Metalle auf das Wasser ein, allerdings erst bei erhöhter Temperatur, wenn wir über die zum Glühen erhitzten Metalle Wasserdampf leiten. Jedoch gelingt die Zersetzung des Wassers durch die genannten Metalle auch bei gewöhnlicher Temperatur, nämlich wenn wir dem Wasser eine Säure zusetzen. In der Flasche *A* (Fig. 50) von etwa 2 l Inhalt befindet sich granuliertes Zink (100 g), wie man es erhält, wenn man geschmolzenes Zink in Wasser gießt. Ich füge Wasser (200 ccm) hinzu, es findet keine Einwirkung statt, mischen wir etwas konzentrierte Schwefelsäure (50 ccm) bei, so beobachten wir eine lebhafte Gasentwickelung. Das Gas ist Wasserstoff, was wir sogleich an seiner Brennbarkeit erkennen werden. Verschließe ich die Flasche durch einen Stopfen, dessen Durchbohrung ein Glasrohr trägt, so kann das Gas nur aus der Spitze der Röhre entweichen. Solange die Luft nicht vollständig aus der Flasche verdrängt ist, entweicht ein Gemisch von Wasserstoff und Luft, d. i. Knallgas, verdünnt durch Stickstoff — Luftknallgas, das wir nach unseren Erfahrungen nicht zu entzünden wagen. Um sicher zu gehen, fangen wir eine Probe der ausströmenden Gase in einem nur wenige Kubikcentimeter fassenden Probierröhrchen auf, das wir über die Ausströmungsöffnung unseres Apparates schieben. Diese kleine Probe auf ihre Brennbarkeit



Fig. 50. Darstellung von Wasserstoff durch Einwirkung von Zink auf angesäuertes Wasser.

zu prüfen, ist gefahrlos. Wir verschließen die Öffnung des Probierröhrchens mit dem Daumen, nähern es einer Flamme und machen jetzt erst die Mündung frei. Verpufft das Gasgemisch, dann warten wir noch; erst wenn es mit ruhiger Flamme im Gläschen herabbrennt, ist es gefahrlos, das aus dem Apparat strömende Gas zu entzünden. Wasserstoff verbrennt mit blauer, nur wenig leuchtender Flamme.

Dieses Verbrennen des Wasserstoffs ist nichts anderes als eine kontinuierliche chemische Vereinigung des Wasserstoffs mit Sauerstoff, welchen die von allen Seiten heranströmende Luft der Flamme zuführt. Das Produkt der Verbrennung ist Wasser. Die Glasglocke *B*, welche ich über die Flamme halte (Fig. 51), kühlt den Wasserdampf ab und beschlägt, die Wassertröpfchen werden allmählich größer und rinnen herab.

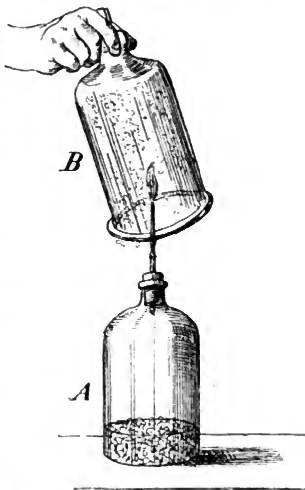


Fig. 51. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht Wasser.

Eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft des Wasserstoffs ist sein geringes Gewicht. Daß Wasserstoff leichter als Luft ist, läßt sich durch einen einfachen Versuch zeigen. Aus dem kleinen, vor mir liegenden Ballon, der aus einem dünnen Kollodiumhäutchen besteht, drücke ich vorsichtig die Luft und schiebe nun die untere Öffnung desselben über die Spitze der Glasröhre unseres Wasserstoffapparates, dessen Flamme vorher zum Verlöschen gebracht wurde. Sogleich füllt sich der Ballon mit Wasserstoff, er strebt, sich meinen Händen zu entwinden und steigt jetzt auf (Fig. 52) bis zur Decke des Zimmers. 1 l Wasserstoff wiegt nicht ganz neun Hundertstel Gramm, die Luft ist vierzehnmal schwerer.

Mit vielen anderen Elementen geht der Wasserstoff chemische Verbindungen ein. So kennen wir Verbindungen des Wasserstoffs mit Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, ferner Verbindungen, welche außer Wasserstoff mehrere Elemente z. B.

Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff zugleich enthalten. Derartige Verbindungen sind in allen Gebilden vegetabilischen und animalischen Ursprungs enthalten und haben für die Lebensvorgänge der Organismen eine hervorragende Bedeutung.

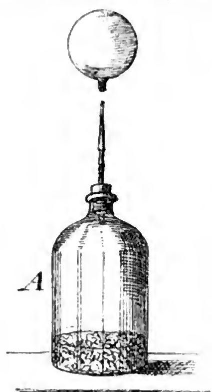


Fig. 52. Wasserstoff ist leichter als Luft.

Die verbreitetste und am massigsten vorkommende Verbindung ist das Wasser. Zwei Drittel der Erdoberfläche sind vom Wasser bedeckt und oft bis zu gewaltigen Tiefen. Von den schneebedeckten Gipfeln der Berge stürzt es herab und reißt alles mit sich fort, was ihm entgegentritt und lagert es an tieferen Stellen wieder ab, bis es sich einen Weg gebahnt hat, in dem es ruhiger dahinfließt. Das Wasser besorgt in der Natur den Transport der festen Körper in gelöstem und ungelöstem Zustande und vermittelt auf diese Weise die mannigfachsten geologischen und chemischen Vorgänge.

Der Regen bedingt die Fruchtbarkeit der Felder. Das Wasser ist ein Kapital, welches die Natur unaufhörlich umsetzt, um reichen Nutzen daraus zu ziehen.

Vom Himmel kommt es,
Zum Himmel steigt es,
Und wieder nieder
Zur Erde muß es
Ewig wechselnd.

IV. Kohlensäure.

Darstellung und Eigenschaften. Flüssige und feste Kohlensäure. Abscheidung von Kohlenstoff aus Kohlensäure durch Kalium. Entstehung der Kohlensäure aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Anderweitige kohlenstoffhaltige Gase. Eigenschaften des Kohlenstoffs. Bei der Verbrennung eines Diamanten entsteht nur Kohlensäure, der Diamant ist daher Kohlenstoff. Was ist Verbrennung?

Darstellung und Eigenschaften.

Als wir uns damit beschäftigten, die Zusammensetzung der Luft zu ermitteln, machten wir unter anderen auch die Beobachtung, daß eine klare Flüssigkeit, die wir in eine offene Schale gossen, sich allmählich trübte. Die Flüssigkeit bestand aus einer Lösung von Kalk in Wasser, wie man sie erhält, wenn man gelöschten Kalk mit Wasser zusammenbringt, tüchtig umschüttelt und nach dem Absetzenlassen die klare Lösung abgießt. Die Trübung des Kalkwassers wird veranlaßt durch einen Bestandteil der Luft, die Kohlensäure, welche, wie wir wissen, nur einen geringen Bruchteil, nur drei Zehntausendstel, der atmosphärischen Luft ausmacht. Die Kohlensäure vereinigt sich mit dem im Wasser gelösten Kalk zu einem festen Körper, dem kohlensauren Kalk, der in Wasser unlöslich ist, sich daher ausscheidet und die Lösung trübt in dem Maße, in dem er sich bildet. Wenn man Kalkwasser längere Zeit an der Luft stehen läßt, bildet sich allmählich mehr und mehr kohlensaurer Kalk, der sich dann leicht durch Filtrieren von der Flüssigkeit trennen läßt (Fig. 36, Seite 35). Auf diese Weise habe ich größere Mengen von kohlensaurem Kalk gesammelt, aus dem wir nun die Kohlensäure, welche das Kalkwasser aus der Luft aufnahm, wieder frei machen wollen. Es gelingt dies, wenn man Essig oder eine andere Säure darauf gießt. Unter Aufbrausen entweicht die Kohlensäure. Wir wollen die Zersetzung in einem geschlossenen Gefäße vornehmen und, wie wir

in ähnlichen Fällen verfuhren, das freiwerdende Gas in mit Wasser gefüllten Cylindern auffangen. Ich schütte etwas von dem kohlensauren Kalk in die Flasche *A* (Fig. 53), verschließe dieselbe mit einem doppelt durchbohrten Stopfen, der mit einem bis auf den Boden der Flasche reichenden Trichterrohr *b* und dem Gasableitungsrohr *c* versehen ist, und gieße nun etwas Salzsäure durch den Trichter. Sofort entwickelt sich Kohlensäure und bald sind unsere Cylinder mit dem Gase gefüllt, so daß wir nun reine Kohlensäure zur Verfügung haben und ihre Eigenschaften studieren können. Die in der Luft nur äußerst spärlich vorhandene Kohlensäure entdeckten wir an ihrer Eigenschaft, Kalkwasser zu trüben, wir wundern uns daher nicht, daß reine Kohlensäure diese Eigenschaft in erhöhtem Maße zeigt.

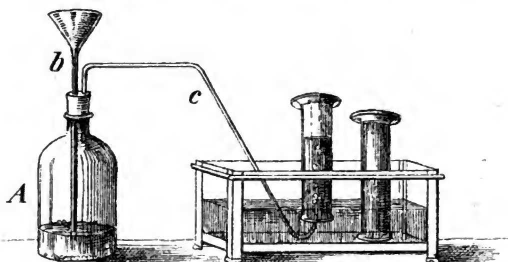


Fig. 53. Aus dem kohlensauren Kalk macht Salzsäure die Kohlensäure wieder frei.

Bei der Untersuchung von Gasen haben wir uns immer die Frage vorgelegt, ob das Gas brennbar ist. Wir sehen, wenn wir die Öffnung eines unserer Cylinder der Flamme nähern, daß die Kohlensäure nicht brennbar ist. Wenn wir einen glimmenden Span in das Gas tauchen, hört er sofort auf zu glimmen, der brennende Span, ein brennendes Licht erlöschen augenblicklich in dem Gase. Wir haben früher ein anderes Gas, welches dasselbe Verhalten zeigte, den Stickstoff, kennen gelernt, wir erinnern uns ferner, daß der Stickstoff den Atmungsprozeß nicht zu unterhalten vermag, und in gleicher Weise ersticken Tiere und Menschen in Kohlensäure. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber zwischen beiden Gasen, Stickstoff trübt Kalkwasser nicht.

Um es uns zu veranschaulichen, daß ein Licht in Kohlensäure zu brennen aufhört, wollen wir folgenden Versuch anstellen. Wir brauchen zu demselben eine größere Menge Kohlensäure. Da es zeitraubend und mühsam ist, größere Mengen von kohlensaurem Kalk durch Einwirkung der Luft auf Kalkwasser herzustellen, wollen wir uns die Kohlensäure zu dem Versuche aus kohlensaurem Kalk, wie ihn uns die Natur in reichlicher Menge liefert, herstellen. Kreide, Marmor, gewöhnlicher Kalkstein sind nichts anderes als kohlensaurer Kalk. In der einen der beiden Flaschen (Fig. 54), die durch einen Schlauch miteinander verbunden sind, befinden sich Marmorstücke, die andere enthält Salzsäure. In dem Stopfen, welcher die Flasche *B* verschließt, steckt eine Röhre mit Glashahn. Öffne ich den Hahn, so fließt die Säure aus *A* zum Marmor in *B* und es erfolgt eine lebhafte Kohlensäureentwickelung.

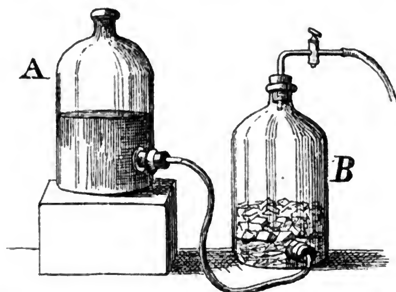
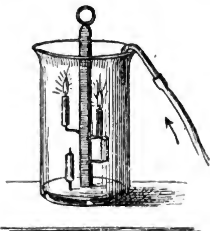


Fig. 54. Apparat zur Darstellung von Kohlensäure aus Marmor.

An diesem Drahtstück (Fig. 55) befinden sich mehrere Wachslichte in verschiedener Höhe angebracht, die ich anzünde und in ein Becherglas setze. Nun wollen wir aus unserem Apparat einen Kohlensäurestrom in das Glas leiten. Was beobachten wir? Zuerst verlischt das unterste Licht, sehr bald verlöschen auch die übrigen, aber in ganz bestimmter Reihenfolge von unten nach oben. Aus diesem Versuche folgern wir, daß die Kohlensäure schwerer als Luft ist, sie lagert sich zunächst auf den Boden des Glases, steigt allmählich höher und verdrängt schließlich die Luft vollständig, was wir an dem Verlöschen des letzten Flämmchens erkennen.


Fig. 55. Verlöschen von Kerzenflammen durch Zuströmen von Kohlensäure.

In der That ist die Kohlensäure erheblich schwerer wie die Luft. Das läßt sich leicht mit der Wage nachweisen. Dieser Glaskolben ist mit Luft gefüllt. Wir wollen sein Gewicht einschließlich der in ihm enthaltenen Luft bestimmen. Ich setze ihn auf die eine Schale der Wage und bringe auf die andere soviel Gewichtsstücke, die ich mir bereitgelegt habe, daß die Wage ins Gleichgewicht kommt. Nun wollen wir die Luft aus dem Glaskolben durch Kohlensäure aus unserem Apparat verdrängen. Um mich davon zu überzeugen, ob unser Vorhaben erfüllt ist, halte ich ein brennendes Licht über die Öffnung des Kolbens. Es verlischt. Ich verschließe ihn und stelle ihn

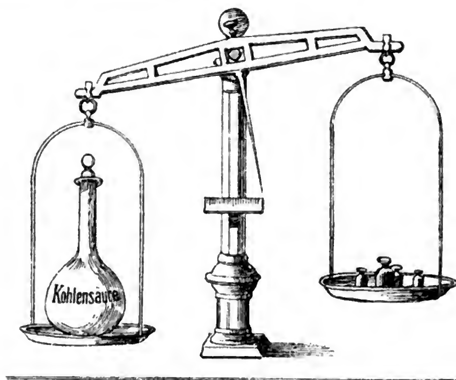


Fig. 56. Kohlensäure ist schwerer als Luft.

wieder auf die Wage. Das Gewicht des Glaskolbens hat sich nicht geändert, die Wage sinkt (Fig. 56), weil die Kohlensäure, welche sich jetzt in dem Kolben befindet, schwerer ist als die Luft, die vorher darin war. Es wiegt (bei 0° und 760 mm)

1	Liter Kohlensäure	1,967 g
1	„ Luft	1,294 „
		0,673 g

Wenn wir die Öffnung des Kolbens nach unten neigen, fließt die Kohlensäure wieder aus und Luft dringt ein. Man kann daher ganz ähnlich, wie man Wasser aus einem Glase in das andere gießt, Kohlensäure aus einem Gefäß in das andere

umfüllen, wenn man es auch nicht sehen kann. Der Glascylinder *A* enthält Luft. Ich will jetzt in denselben die Kohlensäure aus dem Glaskolben *B* überfüllen, sie strömt auf den Boden des Cylinders und treibt die Luft aus. Der brennende Span, den ich in den Cylinder einführe, verlischt; Kalkwasser, das ich eingieße, trübt sich sofort! Wir erkennen also, daß thatsächlich die Kohlensäure aus dem einen Gefäß in das andere floß, obgleich wir es nicht mit den Augen verfolgen konnten.

Diese Eigenschaft der Kohlensäure, schwerer als Luft zu sein, erklärt es, daß sich Kohlensäure, wo sie entsteht, an den tiefsten Stellen anhäuft. Das ist besonders der Fall in Gärkellern, in Brunnen und Schächten, die schlecht oder gar nicht ventiliert sind. Wenn jemand es wagen würde in einen solchen Brunnen zu steigen, so würde er bald schwindlig werden, hinabfallen und ersticken. Dasselbe Schicksal ereilt denjenigen, der ihn zu retten unternimmt, wenn nicht zuvor die nötigen Vorsichtsmaßregeln getroffen sind. Leider kommen derartige Unglücksfälle immer noch vor, und nichts ist leichter und einfacher, als sich davon zu vergewissern, ob es gefahrlos ist, in einen Brunnen zum Zwecke der Reparatur oder aus anderen Gründen zu steigen. Wenn man zuvor ein brennendes Licht hinabläßt und dasselbe in der Tiefe verlöschen sieht, dann ist Gefahr vorhanden, wenn es weiter brennt, nicht.

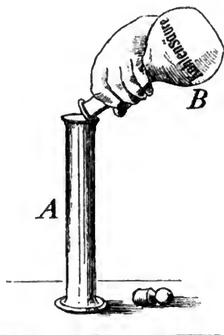


Fig. 57. Umfüllen von Kohlensäure.

Flüssige und feste Kohlensäure.

Wir haben uns des Wasserdampfes mehrfach bedient, um die Eigenschaften der Körper in gasförmigem Zustande zu studieren. Wird Wasserdampf abgekühlt, so geht er in flüssiges Wasser über. Die gleiche Erscheinung zeigen alle Gase, der Grad der Abkühlung, den sie erleiden müssen, um flüssig zu werden, ist aber sehr verschieden. Kohlensäure wird erst flüssig, wenn sie einer Kälte ausgesetzt wird, die 80° C unter dem

Gefrierpunkt des Wassers liegt. Der strengste sibirische Winter bringt eine solche Kälte nicht hervor, in der Natur existiert die Kohlensäure daher nur im gasförmigen Zustande. Auf künstlichem Wege lassen sich aber noch viel weiter gehende Temperaturerniedrigungen herbeiführen.

Alle Gase besitzen die Eigenschaft, dem Drucke nachzugeben. In dem geschlossenen Schenkel *A* des Apparates I (Fig. 58) ist eine bestimmte Gasmenge durch Quecksilber von der Luft abgesperrt. Das Quecksilber steht in beiden Schenkeln, in dem kürzeren, geschlossenen *A* und in dem längeren, offenen *B*, gleich hoch. Wenn wir den offenen Schenkel mit Quecksilber vollfüllen, so drückt die Quecksilbersäule mit ihrem vollen Gewicht auf das in dem geschlossenen Schenkel befindliche Gas, und wir sehen (Fig. 58, II), wie erheblich dasselbe hierdurch zusammengedrückt wird. Wäre der offene Schenkel länger, so ließe sich durch Eingießen von weiterem Quecksilber die Last der drückenden Quecksilbersäule vermehren, und in gleicher Weise würde sich der von der Gasmenge eingenommene Raum verringern. Setzen wir ein Gas einem gesteigerten Druck aus, so wird der Raum, den es einnimmt, immer kleiner. Die einzelnen Gasteilchen nähern sich mehr und mehr, bis sie sich schließlich bei einem bestimmten Druck plötzlich zu Tröpfchen verdichten.

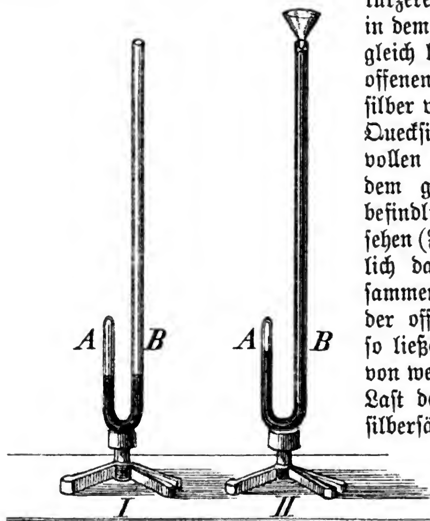


Fig. 58. Zusammenpressen eines Gases durch Drucksteigerung.

Es giebt also zwei Möglichkeiten, Gase zu verflüssigen, Temperaturerniedrigung und Drucksteigerung. In den meisten Fällen ist es, wenn man größere Mengen eines Gases verflüssigen will, zweckmäßig, beide Hilfsmittel zur Anwendung zu bringen.

Auf diese Weise werden jetzt unter Anwendung kräftiger Druckpumpen und gleichzeitiger Wasserkühlung große Mengen flüssiger Kohlensäure fabrikmäßig hergestellt. In dieser Flasche aus Schweißeisen (Fig. 59), die eine Länge von etwa 100 cm und einen Durchmesser von 10 cm hat, befinden sich 8 kg flüssiger Kohlensäure, welche durch Zusammenpressen von 4000 l gasförmiger Kohlensäure erhalten wurden. Die flüssige Kohlensäure hat gegenwärtig dieselbe Temperatur wie die anderen Gegenstände, die sich mit ihr in dem Hörsaal befinden; das an der Wand hängende Thermometer zeigt 17° C. Bei dieser Temperatur bedarf es, um die Kohlensäure im flüssigen Zustande zu erhalten, eines Druckes gleich dem Gewichte einer 55mal höheren Luftsäule als die ist, welche sich über uns befindet. Dieser

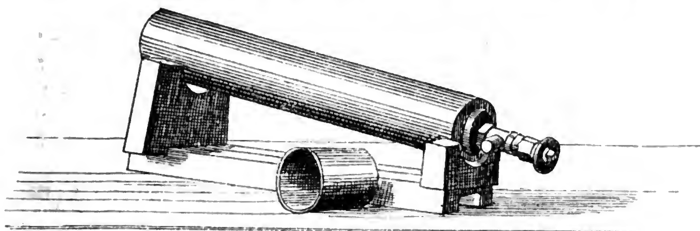


Fig. 59. Flasche aus Schweißeisen mit flüssiger Kohlensäure.

gewaltige Druck von 55 Atmosphären lastet auf den Innenwandungen der eisernen Flasche und hätte sie, wäre sie nicht aus so vorzüglichem Material gearbeitet, längst zersprengt. Doch wir brauchen die Gefahr nicht zu fürchten, da solche Flaschen, bevor sie in Gebrauch genommen werden dürfen, vorschriftsmäßig auf ihre Haltbarkeit geprüft und dabei einem Druck von 250 Atmosphären ausgesetzt werden.

Der Verschluß der eisernen Flasche ist ein sehr kunstvoller und ermöglicht eine äußerst feine oder eine größere Öffnung freizumachen. Die eiserne Flasche ist so in das Holzgestell gelegt, daß das Ende, an dem sich das Ventil befindet, tiefer wie der Boden der Flasche liegt. Den tiefer liegenden Teil füllt die flüssige Kohlensäure aus, soweit ihre Menge reicht, darüber ist gasförmige Kohlensäure gelagert, die mit dem vollen Innendruck die Flüssigkeit herauspreßt, wenn wir den Verschluß lüften. Hier habe ich einen Beutel aus grobem Gewebe, in

dem wir etwas von dem Inhalte der Flasche aufsammeln wollen; ich binde den Beutel fest um die Mündung des Ventils und öffne es vorsichtig. Das zischende Geräusch verrät uns das gewaltsame Ausströmen der Kohlensäure. Der Beutel bläht sich auf, und das steif gewordene Gewebe faßt sich hart an, wie wenn es gefroren wäre. Wenn wir nun den Inhalt des Beutels näher untersuchen, überrascht uns eine unerwartete Thatsache. Der Inhalt ist fest, eine weiße Masse, ähnlich dem Schnee fällt beim Umstülpen des Beutels heraus; die flüssige Kohlensäure ist fest geworden. Wie erklärt sich das? Die Kohlensäure siedet unter dem gewöhnlichen Druck der Luft d. h. unter

1	Atmosphäre	bei	—	80° C
10	Atmosphären	„	—	40° C
20	„	„	—	20° C
30	„	„	—	4° C
40	„	„	+	5° C
50	„	„	+	13° C
60	„	„	+	20° C

u. s. w.

Sobald die flüssige Kohlensäure, deren Temperatur im Innern der Flasche, wie wir soeben feststellten, 17° C beträgt, beim Öffnen des Ventils herausgepreßt wird und nunmehr sich unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck befindet, gerät sie in lebhaftes Kochen. Die Temperaturdifferenz von 80 + 17 = 97° C bewirkt ein stürmisches Sieden. Hierzu wird Wärme verbraucht (Seite 44), welche der umgebenden Luft und dem noch nicht verdampften Anteil der flüssigen Kohlensäure entzogen wird, der infolge der rapiden Abkühlung erstarrt zu dem festen Körper, den wir hier, einem kleinen Schneeberg gleichend, vor uns sehen. Etwas davon lege ich auf einen Teller, den wir herum gehen lassen wollen, damit jeder aus unmittelbarer Anschauung sich von dem festen Zustand des Körpers, der für gewöhnlich gasförmig ist, überzeuge; ich bitte jedoch, den Teller ohne all' zu langes Zögern weiterzugeben, weil ihn sonst die Letzten, die ihn in die Hand bekommen, leer finden würden. Die feste Kohlensäure schmilzt nicht an der Luft, weil ihr Siedepunkt beim Druck einer Atmosphäre etwas niedriger liegt, wie ihr Schmelzpunkt; sie verschwindet auch nicht sofort vor unseren Augen, weil die zu ihrer Verdampfung

erforderliche Wärme nur ganz allmählich mit der Luft, die ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, an sie herantritt.

Trotz der großen Kälte, welche der festen Kohlensäure inne wohnt, kann ich mir ein Körnchen davon auf die Hand legen. Ich thue es vorsichtig, unablässig verdampft die Kohlensäure, und es befindet sich fortwährend eine Gasschicht zwischen dem festen Stück und meiner Hand. Da alle Gase die Wärme schlecht leiten, kann ich es eine Zeit lang aushalten, ich werde mich aber wohl hüten, das Stück fest in die Hand zu drücken, so daß die Berührung eine innigere wird, das würde eine äußerst schmerzhafte Verletzung, ähnlich den Brandwunden, zur Folge haben.

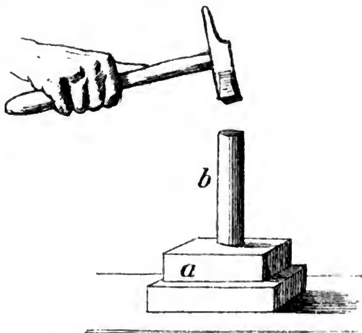
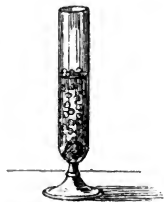


Fig. 60. Zusammenhämmern fester Kohlensäure.

Die lockere, weiße, schneeähnliche, feste Kohlensäure läßt sich mit dem Hammer bearbeiten und so dicht machen, daß sie in Wasser untersinkt. Der Holzklotz *a* (Fig. 60) hat in der Mitte eine cylindrische Bohrung, die ich mit fester Kohlensäure anfülle. Der Stempel *b* paßt genau in die Öffnung, schlage ich ihn mit dem Hammer nieder, so wird die Kohlensäure zu einem kompakten Cylinder zusammengepreßt, der sich mit der Feile und dem Meißel bearbeiten läßt. Werfen wir ein Stück davon in ein Glas mit Wasser, so sinkt es unter, zugleich steigen, wie wir sehen (Fig. 61), Gasblasen in ununterbrochener Folge empor. Enthält das Glas Kalkwasser, so trübt sich dasselbe sofort. Der Versuch, den wir vor kurzem auf den vier stufenweise an einem Halter befestigten Kerzen anstellten (Fig. 55, S. 63), läßt sich, wenn wir etwas feste Kohlensäure auf den Boden des Becherglases streuen, leicht und sicher ausführen.


Fig. 61. Feste Kohlensäure unter Wasser.

Die feste Kohlensäure eignet sich vorzüglich zur Erzeugung

großer Kälte. Das zeigt sich ohne weiteres beim Zusammenbringen mit guten Wärmeleitern, zu denen bekanntlich die Metalle gehören. Mische ich etwas feste Kohlensäure mit Quecksilber und füge ich, damit die Mischung eine recht innige werde, Äther, der erst bei — 129° C erstarrt, hinzu, so wird das Quecksilber fast augenblicklich fest, so daß ich den erstarrten Quecksilberklumpen mit der Zange fassen und aufheben kann (Fig. 62). Die Erstarrungstemperatur des Quecksilbers ist — 40° C.

Es ist noch nicht allzu lange, etwa 20 Jahre, her, als die erste flüssige Kohlensäure in den Handel kam; jetzt werden jährlich Millionen Flaschen davon verbraucht und zwar zum Betriebe von Kältemaschinen und um das Bier aus den Fässern in die Gläser zu heben, wobei unter dem Einfluß der Kohlensäure das Bier bis zum letzten Tropfen frisch schmeckend und schäumend bleibt. Veranschaulichen wir uns den Vorgang.



Fig. 62. Festes Quecksilber.

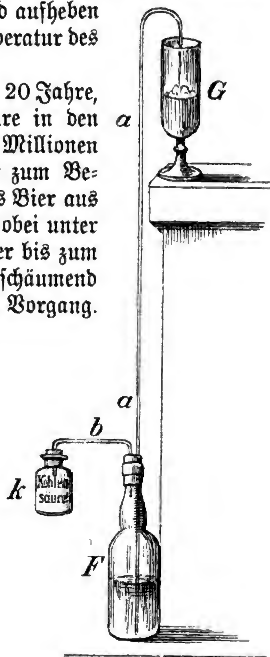


Fig. 63. Heben von Bier mittels fester (flüssiger) Kohlensäure.

Die mit Bier gefüllte Flasche *F* (Fig. 63) vertritt das Faß, die Glasröhre, durch welche das Bier in das Glas *G* gedrückt werden soll, reicht bis auf den Boden der Flasche. In das Gläschen *k* habe ich etwa 1 g feste Kohlensäure gebracht, dann wurde es sogleich mit dem Stopfen verschlossen, in dem die kurze, doppelt gebogene Glasröhre *b* steckt, die in der Flasche *F* oberhalb des Bieres endet. Die feste Kohlensäure in dem Gläschen *k*

wird sehr bald gasförmig; 1 g giebt 500 ccm Gas, das sich, da ihm in *k* der Raum fehlt, Platz schafft und unablässig auf die Oberfläche des Bieres drückt, so daß dieses in der Röhre *a a* in die Höhe steigt und mit schäumendem Strahle, wie wir sehen, in das Glas läuft. Bei den Apparaten im großen tritt an Stelle des Gläschen *k* die eiserne Flasche mit flüssiger Kohlensäure, an Stelle der Flasche *F* das Bierfaß, Ventile und Windkessel dienen zur sicheren Regelung des Druckes, so daß sich das Bier ganz nach Wunsch verzapfen läßt.

Abscheidung von Kohlenstoff aus Kohlensäure durch Kalium.

Alle bisher betrachteten Erscheinungen beruhen auf physikalischen Vorgängen, es interessiert uns nun vor allem die Frage nach der chemischen Natur der Kohlensäure. Die Kohlen-

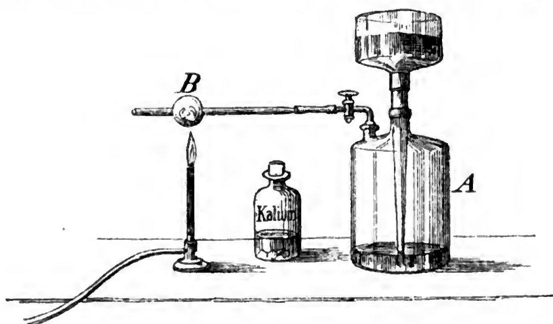


Fig. 64. Zersetzung der Kohlensäure durch Kalium.

säure ist kein Grundstoff, wie der Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, sondern eine chemische Verbindung. Aus welchen Grundstoffen die Kohlensäure zusammengesetzt ist, sollen uns die folgenden Versuche zeigen.

Ein Körper, der sehr energische chemische Wirkungen hervorzubringen vermag, ist das Kalium. In Berührung mit Wasser entzieht das Kalium dem Wasser den Sauerstoff, mit dem es sich vereinigt, und der Wasserstoff wird frei (S. 58). Der Versuch soll uns lehren, ob das Kalium auch auf die Kohlensäure einzuwirken vermag. In der Kugelröhre *B* (Fig. 64)

befindet sich etwas metallisches Kalium, und wir wollen nun Kohlensäure aus dem Gasbehälter *A* darüber leiten. Es findet keine Einwirkung statt. Da uns die Erfahrung gelehrt hat, daß Körper, die bei gewöhnlicher Temperatur zusammengebracht, unverändert bleiben, in der Hitze oft heftig aufeinander einwirken, wollen wir das Kalium in der Kugelröhre mit einer Flamme erwärmen.

Wie sehen unsere Erfahrung von neuem bestätigt. Das Kalium glüht auf, und die Röhre füllt sich mit dichtem, weißem Rauch, von dem ein Teil vorn aus der Öffnung entweicht. Nach dem Erkalten der Röhre werden wir die Veränderung deutlicher erkennen. Das Metall ist verschwunden, an seiner Stelle liegt ein schwarzer Körper, darüber breitet sich eine weiße Masse aus. Wenn wir den Inhalt der Kugelröhre mit Wasser zusammenbringen (Fig. 65), so löst sich die weiße Masse auf, jedoch ohne Feuererscheinung, und erteilt dem Wasser die Eigenschaft, rotes Lackmuspapier blau zu färben, gerade so, wie wir es beobachteten, als wir Kalium auf Wasser einwirken ließen (S. 17). Es löst sich aber nicht alles auf, in der Flüssigkeit schwimmen, schwarz wie Ruß, feste unlösliche Partikelchen herum, die wir von der Lösung trennen können, indem wir das Ganze auf ein Papierfilter gießen. Der feste schwarze Körper, der auf dem Filter, das ich Ihnen herumreichen werde, zurückblieb, ist, wie eingehende Untersuchungen gelehrt haben, Kohlenstoff. Wir schließen mithin aus unserem Versuche, daß in der Kohlensäure, dem farblosen Gase, welches wir über das erhitzte Kalium leiteten, Kohlenstoff enthalten ist.



Fig. 65. Auslaugen des Reaktionsproduktes von Kohlensäure und Kalium mit Wasser.

Entstehung der Kohlensäure aus Kohlenstoff und Sauerstoff.

Bei der Einwirkung auf Wasser nimmt das Kalium Sauerstoff auf. Aus der Ähnlichkeit des Verhaltens des hierbei entstehenden Körpers und des aus dem Kalium beim Überleiten von Kohlensäure entstandenen weißen Körpers gegen Lackmuspapier, folgern wir, daß in beiden Fällen derselbe

Körper entstanden sein könnte, daß mithin das Kalium ebenso, wie es dem Wasser Sauerstoff entzieht, der Kohlensäure Sauerstoff entzogen hat.

Es drängt sich uns also die Vermutung auf, daß in der Kohlensäure Sauerstoff enthalten ist. Trifft diese Vermutung zu, besteht die Kohlensäure in der That aus Kohlenstoff und Sauerstoff und zwar nur aus diesen beiden Elementen, so muß es auch gelingen aus Kohlenstoff und Sauerstoff Kohlensäure herzustellen. Der Versuch mag es entscheiden. Der schwarze Körper, welcher sich in der Glasbüchse (Fig. 66) befindet, ist Kohlenstoff. Ich fülle etwas davon in die Kugelröhre *A*, durch die wir nun Sauerstoff aus dem Gasbehälter *B* leiten wollen.

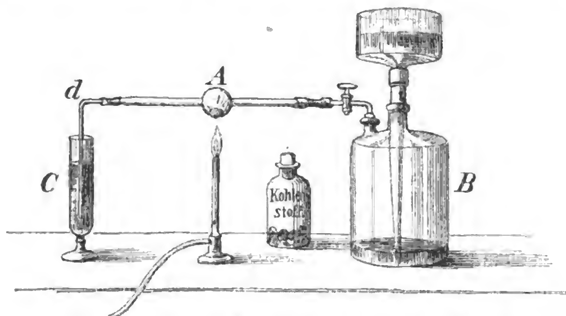


Fig. 66. Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlensäure.

Da wir die Entstehung von Kohlensäure erwarten, habe ich in das Glas *C*, in welches die nach unten gebogene Röhre *d* das aus der Kugelröhre austretende Gas führt, Kalkwasser gefüllt. Öffne ich jetzt den Hahn des Gasbehälters, so strömt Sauerstoff ohne Einwirkung durch den Apparat. Erhitzen wir gleichzeitig den Teil der Kugelröhre, in welchem der Kohlenstoff liegt, mit einer Flamme, so gerät er plötzlich ins Glühen und glüht auch weiter, wenn ich die Flamme entferne, dabei verringert sich seine Menge zusehends, immer stärker trübt sich das Kalkwasser, ein letztes Aufleuchten, und der Kohlenstoff ist verschwunden! Der Kohlenstoff wurde durch die Einwirkung des Sauerstoffs in ein Gas verwandelt, das Kalkwasser trübt und alle charakteristischen Eigenschaften der Kohlensäure zeigt. Die Kohlensäure besteht demnach nur aus Kohlenstoff und Sauerstoff.

Anderweitige kohlenstoffhaltige Gase. Eigenschaften des Kohlenstoffs. Bei der Verbrennung eines Diamanten entsteht nur Kohlensäure, der Diamant ist daher Kohlenstoff.

Die Thatsache, daß in der Kohlensäure Kohlenstoff enthalten ist, erscheint dem Uneingeweihten überraschend. Die Kohlensäure ist jedoch nicht das einzige Gas, welches Kohlenstoff enthält, es giebt eine große Anzahl anderer kohlenstoffhaltiger Gase, die ebenso durchsichtig und farblos sind. In dem Glascylinder *A* (Fig. 67) befindet sich ein Gas, welches aus Kohlen- und Wasserstoff zusammengesetzt ist (Grubengas); ich mische es mit

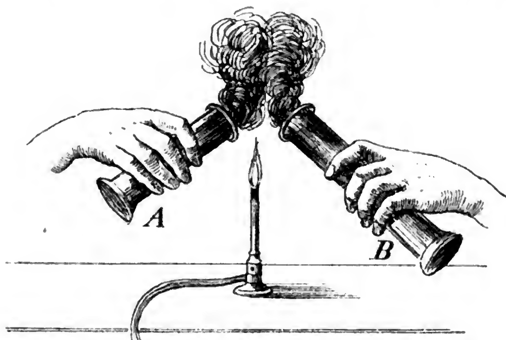


Fig. 67. Chemische Einwirkung von Chlor auf Grubengas unter Abscheidung von Kohlenstoff.

einem anderen Gase (Chlor in *B*) zusammen. Bei gewöhnlicher Temperatur wirken die Gase nicht aufeinander ein, nähere ich aber die Mündungen der Cylinder einer Flamme, so tritt plötzlich die Reaktion ein. Der schwarze Körper, welcher jetzt die Innenwandungen der Cylinder bedeckt und der aus ihnen aufsteigende schwarze Qualm besteht aus Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff ist ein Grundstoff, der seinen Namen von der Kohle erhalten hat, deren Hauptmenge er ausmacht. Steinkohlen enthalten 70 bis 85%, die Holzkohle enthält 96%, Ruß ist fast reiner Kohlenstoff. Wer mit dem Kohlenstoff noch nicht näher bekannt ist, kann geneigt sein, die schwarze Farbe als eine ihm unzertrennliche Eigenschaft anzusehen. Der Chemiker jedoch be-

urteilt die Körper nicht nach der Farbe, sie gehört zu den physikalischen Eigenschaften. Für den Chemiker ist das chemische Verhalten maßgebend, für ihn ist — indem er den Vorgang mit der Wage verfolgt (ich bitte Sie, hiervon Abstand nehmen zu dürfen, weil der Versuch zu zeitraubend ist) — für ihn ist der Körper, welcher bei der Vereinigung mit einer bestimmten Gewichtsmenge Sauerstoff Kohlensäure und nur Kohlensäure giebt, Kohlenstoff.

In ihren wunderbaren Schöpfungen hat die Natur noch andere Körper, als Kohle und Ruß hervorgebracht, die dieses chemische Verhalten zeigen und doch ganz andere physikalische Eigenschaften haben; für den Chemiker sind und bleiben sie Kohlenstoff. Diese Körper sind der Graphit und der Diamant. Der Nachweis ist leicht zu führen, ich will es versuchen. Von dem kostbaren Körper steht mir nur wenig zur Verfügung, nur einige Splitter, wie sie beim Spalten größerer Steine abfallen. Solche Diamantsplitter eignen sich nicht für Schmuckgegenstände, werden aber ihrer Härte wegen geschätzt und zum Schneiden des Glases benutzt. Wenn ich einen von drei Diamantsplittern, die hier vor mir liegen und zusammen 0,1 g (d. h. ein halb Karat) wiegen, zu dem Versuche benutze, werden wir keine glänzende Verbrennungserscheinung, nur ein kurzes Aufleuchten beobachten. Worauf es uns ankommt, ist auch etwas anderes, wir wollen nachweisen, daß bei der Verbrennung des Diamanten im Sauerstoffstrom Kohlensäure entsteht. Ich disponiere den Versuch wie vorhin, als wir etwas von dem schwarzen Kohlenstoff verbrannten, nur habe ich die Röhren etwas enger gewählt. Sie bemerken, daß ich den Diamanten etwas stärker erhitzen muß, ehe er für wenige Augenblicke wie ein Stern aufleuchtet, um sehr bald zu verschwinden, Sie bemerken aber auch, daß das Kalkwasser deutlich getrübt, daß also Kohlensäure entstanden ist. Die Verfolgung des Versuchs mit der Wage hat gelehrt, daß der Diamant nur aus Kohlenstoff besteht.

Was ist Verbrennung?

Wenn wir Kohle an der Luft erhitzen, so findet derselbe Vorgang statt, wie beim Erhitzen im Sauerstoffstrom, der Kohlenstoff erglüht und verschwindet allmählich unserem Auge, indem gleichzeitig Kohlensäure entsteht. Das ist uns leicht verständlich,

da wir wissen, daß die Luft Sauerstoff enthält. Ist der Kohlenstoff nicht ganz rein, dann bleibt ein Rückstand, die Asche zurück. Den Vorgang bezeichnet man im gewöhnlichen Leben kurzweg mit Verbrennung, man sagt die Kohle verbrennt. Wir aber deuten den Vorgang als eine chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure, in gleicher Weise, wie wir die Verbrennung des Wasserstoffs als eine chemische Verbindung des Wasserstoffs mit dem Luftsauerstoff zu Wasser deuteten. Für uns ist Verbrennung immer eine chemische Vereinigung von Sauerstoff mit dem brennbaren Körper. Diese Vereinigung findet in der Regel so energisch statt, daß ein Teil des brennenden Körpers und der Verbrennungsprodukte ins Glühen kommt. Flamme und Feuer, das sind die gewohnten Erscheinungen, welche den Verbrennungsprozeß begleiten. Wie viele andere chemische Prozesse, so ist auch dieser verbunden mit einer intensiven Wärmeentwickelung, die wir uns zu den verschiedenartigsten Zwecken nutzbar machen.

Es ist noch nicht allzulange, wenig über hundert Jahre her, daß die Erscheinung des Feuers, vor welchem heute noch uncivilisierte Völkerstämme auf die Kniee sinken, daß dieses Jahrtausend alte Rätsel seine richtige Erklärung fand, in dem Sinne, in dem wir es uns mehrfach vergegenwärtigt haben. Diese Erklärung ist eng verknüpft mit der Entdeckung des Sauerstoffs, sie konnte nicht gegeben werden, so lange man den Sauerstoff noch nicht kannte.

V. Der Verbrennungsprozeß.

Jeder Verbrennungsprozeß ist an drei Bedingungen geknüpft. Entzündungstemperatur. Die Kerzenflamme (Petroleum- und Leuchtgasflamme). Ursache des Leuchtens der Flamme. Entleuchten der Flamme. Komprimierter Sauerstoff. Drummondsches Kalklicht. Verbrennen von Eisen. Zusammensetzung des Leuchtgases. Der Bunsen-Brenner. Verwendung des Leuchtgases zum Kochen und Heizen. Momentane Verbrennung oder Explosion. Die Davysche Sicherheitslampe. Ursachen des Verlöschen eines Feuers.

Jede Verbrennung ist an drei Bedingungen geknüpft. Entzündungstemperatur.

Wir haben Verbrennung wiederholt definiert als: Chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff. Diese Vereinigung findet in der Regel nicht ohne weiteres statt; erst wenn wir den brennbaren Körper auf eine bestimmte Temperatur erhitzen, entzündet er sich und brennt nun weiter. Jede Verbrennung ist somit an drei Bedingungen geknüpft, nämlich an

1) die Gegenwart eines brennbaren Körpers,
2) die Gegenwart von Sauerstoff,
3) eine bestimmte Entzündungstemperatur.

Im täglichen Leben tritt die dritte Bedingung in den Vordergrund, da die meisten Körper, mit denen wir es zu thun haben, brennbar sind und überall da, wo die Luft hindringt, Sauerstoff vorhanden ist.

Die Entzündungstemperatur ist für jeden Körper eine ganz bestimmte, ihm eigentümliche. Einige Körper, die wir leicht entzündlich nennen, besitzen eine sehr niedrige Entzündungstemperatur, andere wieder lassen sich nur unter Anwendung der höchsten Hitzegrade zur Verbrennung bringen.

Zu den leicht entzündlichen Körpern gehört der gelbe Phosphor. Ich will ein kleines Stück Phosphor, das ich hier

unter Wasser aufbewahrt habe, zunächst vorsichtig mit etwas Löschpapier vom anhaftenden Wasser befreien und nun mit der Zange auf ein dünnes Holzbrettchen legen. Um den Phosphor zur Entzündung zu bringen, genügt eine sehr geringe Temperaturerhöhung, die ich leicht durch Reibung erzielen kann, wenn ich durch einen Kork *k* eine Stricknadel schiebe und einigemale rasch hin und her bewege. Berühre ich nun mit der Stricknadel den Phosphor, so flammt er auf und verbrennt (Fig. 68). Die Entzündungstemperatur des Phosphors liegt ungefähr bei 60° C, also 40° niedriger als der Siedepunkt des Wassers. — Die leichte Entzündlichkeit und die große Giftigkeit des Phosphors erfordern peinliche Vorsicht beim Experimentieren mit demselben. Es ist meine Pflicht, hierauf hinzuweisen und jeden, der nicht genügende Erfahrung besitzt, vor Anstellung von Versuchen mit Phosphor zu warnen.

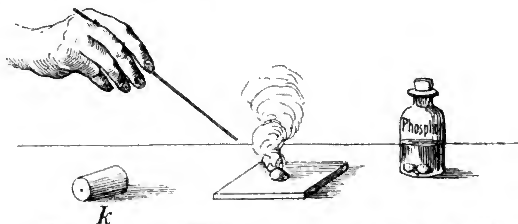


Fig. 68. Entzünden von Phosphor mit einer durch Reibung erwärmten Stricknadel.

Der Phosphor ist verbrannt, das Holzbrettchen, auf dem er lag, hat sich nicht entzündet, obgleich es brennbar ist, weil beim Verbrennen des kleinen Stückchens Phosphor die Entzündungstemperatur des Holzes nicht erreicht wurde. Hätten wir unter den Phosphor etwas Schwefel gelegt, so würde sich der Schwefel an dem Phosphor, das Holz an dem brennenden Schwefel entzündet haben, in ganz ähnlicher Weise, wie die früher allgemein gebräuchlichen Schwefelhölzchen mit der kleinen Phosphorkuppe beim Anreiben zum Brennen kamen.

Wegen der leichten Entzündlichkeit wird der Phosphor unter Wasser aufbewahrt, das nicht chemisch auf ihn einwirkt. Er sinkt im Wasser unter und kann somit leicht vollständig von der Luft abgeschlossen aufbewahrt werden. Unter Wasser kann sich der Phosphor nicht entzünden, auch nicht wenn wir das

Wasser über 60° C erwärmen, weil es die Luft und mit ihr den Sauerstoff abhält, also eine für jede Verbrennung notwendige Bedingung fehlt. Erst wenn auch diese Bedingung gegeben ist, wenn wir in das Wasser Luft oder Sauerstoff durch ein Glasrohr zu dem Phosphor leiten würden, verbrennt er. Dieser Versuch, der zeigt, daß ein Körper auch unter Wasser verbrennen kann, ist sehr lehrreich. Ich habe ihn vorbereitet, (Fig. 69) und wir brauchen jetzt nur noch die Verbindung der Glasröhre *a* mit einem Sauerstoffbehälter herzustellen, um zu sehen, wie bei jeder Gasblase, die ihn trifft, der Phosphor mit hellem Glanze aufleuchtet.

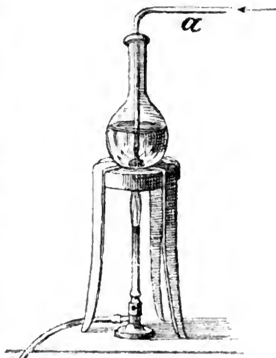


Fig. 69. Verbrennen von Phosphor unter Wasser.

Es giebt noch leichter entzündliche Körper. In dem Glaskügelchen (Fig. 70), das in zwei zugeschmolzene Spitzen ausläuft, befindet sich ein flüssiger Körper (Zinkäthyl), der sich bereits bei einer Temperatur, wie sie hier im Saale herrscht, bei der wir uns gerade behaglich fühlen, entzündet. Sobald er an die Luft kommt, flammt er daher auf. Ich breche vorsichtig die obere Spitze der Kugel ab und neige sie jetzt langsam nach unten: Wie flüssiges Feuer tropft der Inhalt herab. Den letzten Rest schleudere ich mit einem kräftigen Ruck heraus, und als Feuergarbe fällt er zu Boden!

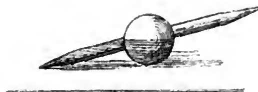


Fig. 70.
Kugelröhrchen mit Zinkäthyl.

Andere Körper wieder besitzen eine Entzündungstemperatur, die so hoch liegt, daß es besonderer Vorrichtungen bedarf, um sie hervorzubringen, hierher gehören die Schwermetalle: Zink, Blei, Eisen u. s. w. (Vergl. S. 86).

Die Kerzenflamme (Petroleum- und Leuchtgasflamme). Ursache des Leuchtens der Flamme.

Die Art der Verbrennung ist abhängig von den Verhältnissen, unter denen die drei erforderlichen Bedingungen gegeben sind. Dieselben lassen sich so regeln, daß eine gleichmäßig fort-

schreitende Verbrennung stattfindet. Ein schönes Beispiel hierfür ist die Flamme einer Kerze. Diese alltägliche Erscheinung birgt in sich eine Fülle von Vorgängen, die unser volles Interesse in Anspruch zu nehmen imstande sind, wenn wir nur sehen, was sie uns zeigt.

Namhafte Naturforscher haben diese Vorgänge studiert und klar gelegt, unter ihnen Michael Faraday, dem wir die „Naturgeschichte einer Kerze" verdanken. Die meisterhafte Darstellungsweise des englischen Gelehrten habe ich immer bewundert, und es wird uns von Nutzen sein, wenn wir ihm folgen.

Wir bemerken zunächst, wie die oberste Schicht der Kerze gleich unter der Flamme sich einsenkt zu einer kleinen Schale.

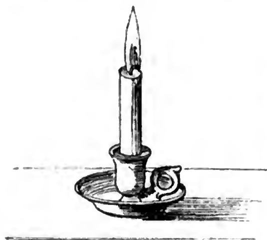


Fig. 71. Die Kerzenflamme.

Die zur Kerze gelangende Luft steigt infolge der Strömung, welche die Flammenhitze bewirkt, nach oben und kühlt dadurch den Mantel der Kerze ab, so daß der Rand des Schälchens kühler bleibt und weniger abschmilzt als die Mitte, auf welche die Flamme am meisten einwirkt, indem sie so weit als möglich am Docht herunter zu laufen strebt. Dieses Schälchen finden wir zum Teil mit flüssigem Kerzenmaterial angefüllt — es gleicht dem Ölbehälter der Lampen —, das flüssige Brennmaterial vermag der Docht aufzusaugen in sich hinein und bis zur Flamme hinauf, infolge der kapillaren Attraktion, wie die Physiker sagen, infolge derselben Kraft, die wir uns täglich zu nutze machen, wenn wir nach dem Händewaschen das Handtuch nehmen, welches die Nässe von den Händen in sich zieht.

Wir wissen, daß unsere ganze Kerze aus demselben leicht entzündlichen Material besteht, das in wenigen Augenblicken zerstört ist, wenn die Flamme es in ihre Gewalt bekommt, aber wir sehen, daß die Flamme ruhig auf ihrem Platze bleibt. Sie strebt wohl herunter zu laufen an dem Docht, aber da trifft sie auf den geschmolzenen Inhalt des Schälchens und findet hier ihre Grenze; ja wir wissen, wenn wir die Kerze plötzlich umdrehen würden, so daß das Geschmolzene am Dochte herunterlaufen müßte, daß dann die Flamme verlischt. Warum?

Weil sie die ihr plötzlich zugeführte Kerzenmasse nicht genügend zu erhitzen vermag, vielmehr selbst unter die Entzündungstemperatur abgekühlt wird.

Wir wollen nun, um einen näheren Einblick in die Vorgänge zu bekommen, welche sich in der Flamme abspielen, einige Versuche anstellen, zunächst einen, der weiter keine Hilfsmittel, als ein Stück Schreibpapier, wohl aber einige Geschicklichkeit erfordert. Ich fasse das Papier mit beiden Händen, bringe es etwa einen Fuß über der Kerzenflamme in eine horizontale Lage, führe es nun rasch senkrecht hinunter bis in die Flamme dicht über den Docht und halte es hier fest, nur einen Augenblick, damit es nicht Feuer fängt. Der Versuch gelingt nicht immer gleich schön, es ist nötig, daß die Flamme ganz ruhig brennt. Indem ich spreche, bewege ich aber die Luft; um sicher zu gehen, habe ich daher den Versuch bereits vor unserer Zusammenkunft angestellt und reiche die Papierstücke (Fig. 72), welche zu demselben dienten, herum. Sie werden sehen, daß das Papier ringförmig gebräunt ist, in der Mitte ist es weiß geblieben. Wir schließen hieraus, daß am äußeren Umfange der Flamme eine größere Hitze herrscht wie in der Mitte.

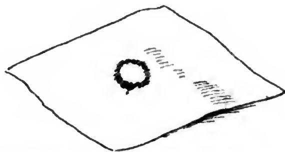


Fig. 72. Durch eine Kerzenflamme ringförmig gebräuntes Papier.

Diese merkwürdige Beobachtung regt uns an, den inneren Teil der Flamme näher zu untersuchen. Ich senke eine gebogene Glasröhre langsam von oben her in das Innere der Flamme, jetzt, wo sie den unmittelbar über dem Dochte befindlichen kaum leuchtenden, blau erscheinenden Teil erreicht, sehe ich, wie sich die Röhre mit weißen Dämpfen füllt, die wir in einen Glaskolben leiten wollen, um ihnen Zeit zu lassen, sich in größeren Mengen zu sammeln (Fig. 73).

Hier ist eine zweite Kerze, in welche ich in derselben Weise eine Röhre von gleicher Form bringe (Fig. 74), jedoch so, daß aus der unteren Öffnung die Dämpfe frei in die Luft treten; ich versuche sie zu entzünden und es gelingt mir in der That! Unverkennbar ist der Zusammenhang des kleinen Flämmchens mit der Kerzenflamme, von der es erzeugt wird, es gleicht ihr

nicht nur in seiner ganzen Erscheinung, sondern raubt ihr auch wie ein Kind seiner Mutter einen Teil ihrer Kraft; den ursprünglichen Glanz der Kerzenflamme sehen wir geschwächt.

Im Innern der Kerzenflamme befinden sich also brennbare Dämpfe. Das feste Kerzenmaterial, durch die Hitze der Flamme verflüssigt, vom Docht in das Innere der Flamme emporgeführt, hat hier Dampfform angenommen und in diesem Zustande können wir es durch eine Glasröhre weiter leiten, in ähnlicher Weise wie das Leuchtgas aus der Gasanstalt durch weitverzweigte eiserne Rohrleitungen fortgeführt wird bis in diesen Saal.

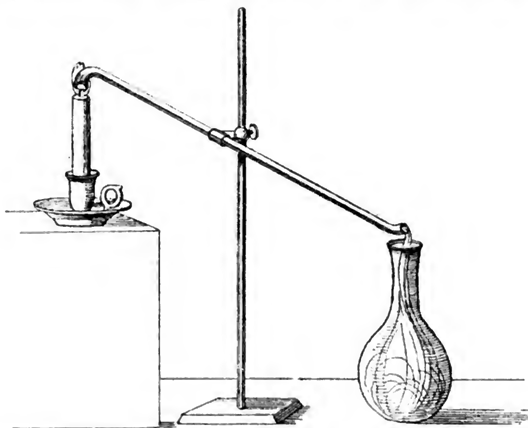


Fig. 73. Im Innern der Kerzenflamme befinden sich Dämpfe, welche sich durch ein Glasrohr ableiten lassen.

Eine alltägliche Erfahrung hat mich veranlaßt, die Glasröhre, durch welche wir die Dämpfe aus dem Innern der Flamme fortleiteten, bis in den untersten, nicht leuchtenden Teil zu senken. Hätten wir sie höher, da, wo die Flamme am hellsten leuchtet, belassen, so würde sie sich sehr bald verstopft haben, mit Ruß, den wir auch auf der Rückseite jener Papierstücke bemerken, die wir über die Flamme hielten, der sich auf jedem Gegenstand, den wir in die Flamme bringen, abscheiden läßt. Ruß ist aber, wie wir wissen, nichts anderes als Kohlenstoff, und wo stammt dieser Kohlenstoff her? Dieser Kohlenstoff

ist in den Dämpfen enthalten, welche sich aus dem Kerzenmaterial im unteren Teil der Flamme entwickeln. Die gesteigerte Hitze der Flamme zersetzt die Dämpfe unter Abscheidung von Kohlenstoff. Der Ruß stammt also aus dem weißen Stearin der Kerze. Die Kerzen werden in den Stearinfabriken aus Rindertalg hergestellt, in welchem, wie in allen organischen Gebilden, Kohlenstoff enthalten ist; außerdem enthält Stearin nur noch Wasserstoff und Sauerstoff.

Wir erinnern uns der Eigenschaften des Kohlenstoffs, der nur im festen Zustande bekannt ist, den auch die stärkste Hitze nicht zu schmelzen und zu verdampfen vermag — dieser

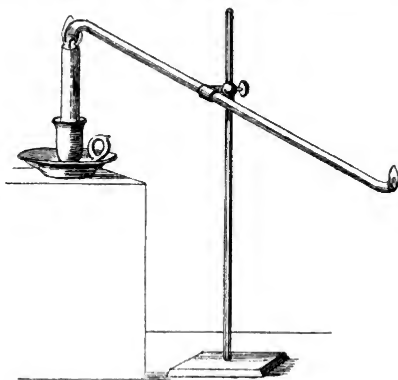


Fig. 74. Die im Innern der Kerzenflamme befindlichen Dämpfe sind brennbar.

feste Kohlenstoff ist es, der durch sein Erglühen das Leuchten der Flamme bedingt. Im Innern der Flamme findet keine Verbrennung statt, weil hier der dazu erforderliche Sauerstoff fehlt, sondern nur am äußeren Umfange der Flamme, da wo die Luft von allen Seiten heranströmt.

In der Flamme äußerst fein verteilte Kohlenstoffpartikelchen sind es also, die durch ihr Erglühen das Leuchten der Flamme bedingen. Durch die nachdringenden Gase und Dämpfe werden sie an den Rand der Flamme geschleudert und hier durch den Sauerstoff der Luft verbrannt, während gleichzeitig in ununter-

brochener Folge durch neue Zersetzungsvorgänge frei werdende Kohlenteilchen emporsteigen und erglühen.

Die Kerze brennt allmählich herab. Hierbei entsteht aus dem Kohlenstoff des Stearins Kohlensäure, aus dem Wasserstoff des Stearins Wasserdampf; beide Verbrennungsprodukte sind unsichtbar und mischen sich der Luft bei. Mit den Bestandteilen der Kerze vereinigt sich der Sauerstoff der Luft, es kommt zu denselben also etwas hinzu: die Summe der Verbrennungsprodukte muß daher schwerer sein als die Kerze vor der Verbrennung. Dies läßt sich leicht nachweisen,

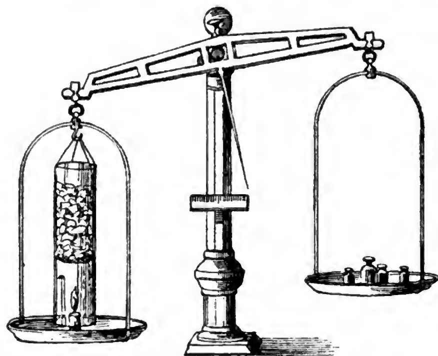


Fig. 75. Die Verbrennungsprodukte einer Kerze sind schwerer als die Kerze vor der Verbrennung.

wenn man eine Kerze auf einer Wage verbrennt und zugleich Vorkehrungen trifft, daß die Verbrennungsprodukte zurückgehalten werden. Auf der linken Seite der Wage (Fig. 75) steht ein Lichtstumpf. Darüber ist ein Glascylinder aufgehängt, dessen obere Hälfte kleine Stücke gebrannten Kalk, auf einem eingeklemmten Drahtnetz liegend, enthält. Der Kalk hat das Bestreben, sich sowohl mit Kohlensäure wie mit Wasser zu verbinden, er hält beide fest, wo er sie findet. Wenn ich den Lichtstumpf entzünde, so steigen die Verbrennungsprodukte der Kerzenflamme in dem Cylinder empor, treffen mit dem gebrannten Kalk zusammen und werden von demselben zurückgehalten. Allmählich sinkt die Wage mit dem Lichte (Fig. 75).

Genau dieselben Vorgänge, spielen sich in der Petroleumflamme und in der Leuchtgasflamme ab. Letzterer strömen bereits die fertig gebildeten, in den Gasfabriken durch Erhitzen von Steinkohlen bei Luftabschluß erzeugten Gase zu, welche in der Kerzen- und Petroleumflamme erst am Orte der Verbrennung aus dem Leuchtmaterial entstehen.

Entleuchten der Flamme. Komprimierter Sauerstoff. Verbrennen von Eisen. Drummondsches Kalklicht.

Wir sagten uns, daß im inneren, leuchtenden Teil der Flamme keine Verbrennung stattfinden kann, weil der Sauerstoff fehlt. Wenn ich durch ein Glasrohr Luft in die Flamme blase, also Sauerstoff zuführe in ganz ähnlicher Weise, wie wir dem unter Wasser erwärmten Phosphor Sauerstoff zuleiteten, dann sind auch im Innern der Flamme die Bedingungen für die Verbrennung gegeben, der Kohlenstoff verbrennt im Momente seines Freiwerdens, und die Flamme leuchtet nicht mehr (Fig. 76). Diese kleine, nicht leuchtende, spitze Flamme ist viel heißer als die größere, leuchtende Flamme, weil die Verbrennung nicht nur am äußeren Umfange, sondern auch im Flammeninnern stattfindet. Man kann sich derselben mit Vorteil zum Löten bedienen. Daher nennt man eine Vorrichtung, die es ermöglicht, Luft in die Flamme zu blasen, zu der man gewöhnlich ein weniger zerbrechliches Material wie Glas, Messing oder ein anderes Metall wählt, ein Lötrohr. Bei andauerndem Gebrauche einer solchen Flamme ist es bequemer, statt mit dem Munde, mit Hilfe eines Blasebalges oder auf andere Art Luft in die Flamme zu pressen.

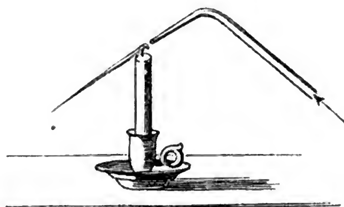


Fig. 76. Die Lötrohr-Flamme.

Wir wissen, daß reiner Sauerstoff den Verbrennungsprozeß viel lebhafter unterhält, als Luft. Wenn wir an Stelle von Luft Sauerstoff in die Flamme leiten, dann ist der Effekt ein überraschender.

Dem Zeitalter, in dem wir leben, hat unverkennbar für alle Zeiten die Technik ihren Stempel aufgedrückt. Was auf wissenschaftlicher Grundlage erreichbar erschien, hat sie auszuführen versucht und selten ohne Erfolg. Verflüssigte und verdichtete Gase sind heute Handelsware, wie Petroleum und Spiritus. In diesem Stahlcylinder (Fig. 77) befindet sich durch einen Druck von 100 Atmosphären verdichteter Sauerstoff. Der innere Raum von 5 l enthält 500 l Sauerstoffgas.

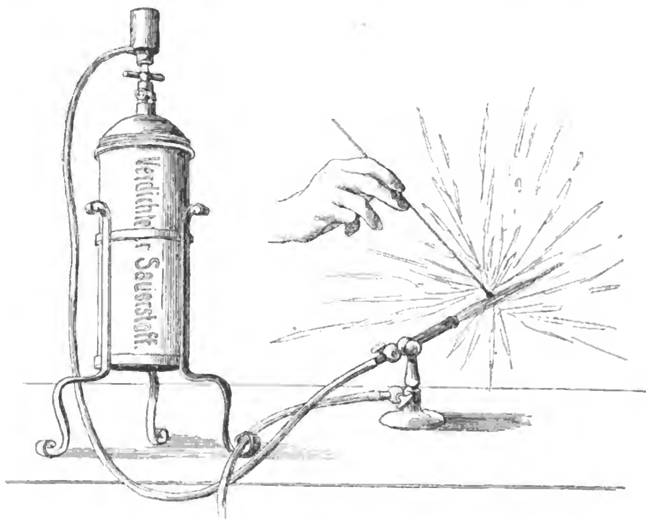


Fig. 77. Verbrennen von Eisen im Sauerstoffgebläse.

Das Reduzierventil ermöglicht es, den Sauerstoff unter beliebigem Druck austreten zu lassen. Ich öffne es ein wenig und leite den Sauerstoff in eine Leuchtgasflamme, die sofort zu leuchten aufhört und zugleich erheblich verkürzt erscheint. Infolge des konzentrierten Verbrennungsprozesses ist die Flamme so heiß, daß wir in dieselbe eingeführte Körper auf 2000° und darüber erhitzen können. In dieser Flamme schmelzen alle Metalle, auch Platin, dessen Schmelzpunkt bei 1770° C liegt und Schmiedeeisen.

Schmelztemperaturen einiger Metalle:

Zinn	228° C
Blei	334°
Zink	412°
Aluminium	700°
Silber	954°
Gold	1037°
Kupfer	1054°
Roheisen	
weißes	1050° bis 1200°
graues	1100° bis 1300°
Stahl	1300° bis 1800°
Nickel	1500°
Platin	1770°
Schmiedeeisen	1800° bis 2250°.

Die unedlen Metalle vereinigen sich, sobald sie an der Luft auf ihre Entzündungstemperatur erhitzt werden, plötzlich mit Sauerstoff. Hierbei treten oft glänzende Verbrennungserscheinungen auf. Da liegt noch die Stricknadel, die wir heute zu unserem ersten Versuch benutzten. Bringen wir das eine Ende derselben in die Flamme, so schmilzt das Eisen fast augenblicklich zu einer kleinen Kugel, die nicht herabfällt, weil das geschmolzene Metall, von der gegenströmenden Flamme weggeschleudert, in eine Unzahl kleinster Tröpfchen zerteilt wird, die einzeln mit strahlendem Lichte verbrennend, uns den Anblick einer sprühenden Quelle glänzender Sterne gewähren (Fig. 77).

Körper, welche unschmelzbar sind und nicht verbrennen (da sie bereits Verbrennungsprodukte sind), leuchten in der Hitze der Flamme oft so hell, daß das Auge den blendenden Glanz nicht zu ertragen vermag. Wir wollen zu dem Versuche das Stück gebrannten Kalk wählen, welches sich in dem Halter (Fig. 78) befindet und nach oben hin kegelförmig zugespitzt ist. Wir sehen, wie es in der Flamme erglüht mit immer mehr zunehmender Intensität und jetzt Tageshelle um uns verbreitet, so daß die Gasflammen, welche uns bisher den Raum ausreichend erleuchteten, ihre Leuchtkraft verloren zu haben scheinen. In dieser Form hat den Versuch, welcher auf das schlagendste zeigt, daß das Leuchten durch Erglühen fester Körper hervorgebracht wird, zuerst der englische Chemiker Drummond angestellt. Man

bezeichnet daher die Erscheinung mit **Drummondsches Kalklicht** und benutzte es, als das elektrische Bogenlicht noch nicht so leicht zugänglich war, als Signallicht, zu Beleuchtungseffekten und als Lichtquelle für Projektionsapparate bei Vorträgen, um Bilder einem größeren Zuhörerkreis sichtbar zu machen. — Noch schöner ist das Licht, wenn man an Stelle des Kalkes einen Zirkonstift verwendet.

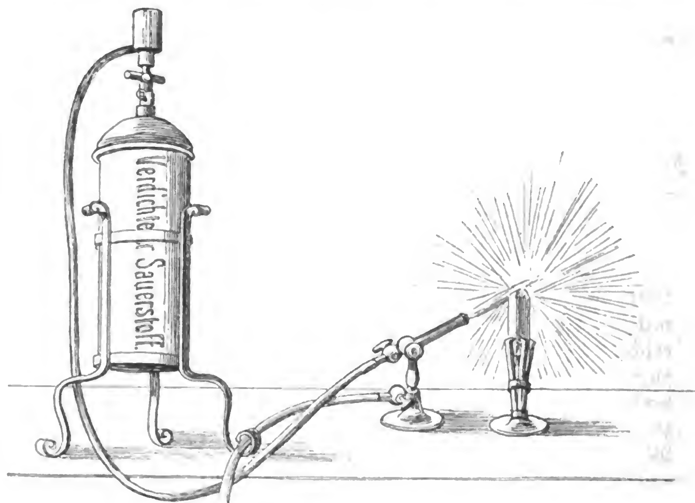


Fig. 78. Drummondsches Kalklicht.

Zusammensetzung des Leuchtgases.

Das Leuchtgas ist kein chemisch einheitlicher Körper, sondern eine Mischung von folgenden Gasen:

Vol.-Proz.		
40—50	Wasserstoff	mit nicht leuchtender Flamme verbrennend,
35—40	Grubengas	
5— 8	Kohlenoxyd	
3— 5	Äthylen und andere sogenannte schwere Kohlenwasserstoffe	mit rußender Flamme verbrennend,
1— 2	Kohlensäure	nicht brennbar.
1— 3	Stickstoff	

Wasserstoff, Grubengas und Kohlenoxyd sind die Träger der schweren Kohlenwasserstoffe, deren Gegenwart die Leuchtkraft des Gases bedingt. Aus ihnen wird in der Hitze der Flamme der Kohlenstoff abgeschieden, welcher durch sein Erglühen das Leuchten der Flamme bewirkt. Je mehr schwere Kohlenwasserstoffe vorhanden sind, um so heller brennt das Gas.

Der Bunsen-Brenner. Verwendung des Leuchtgases zum Kochen und Heizen.

Zu manchen Zwecken, insbesondere wenn wir das Leuchtgas zum Heizen und Kochen verwenden wollen, eignet sich die leuchtende Flamme nicht, weil in Berührung mit ihr die Kochtöpfe berußen. In sehr einfacher Weise läßt sich die rußende Flamme durch Zumischen einer geringen Menge Luft entleuchten.



Fig. 79. Durch Luft entleuchtete Gasflamme.

Die zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhre *a* (Fig. 79) steht durch den Gummischlauch *b* mit der Gasleitung in Verbindung. Über die Glasspitze ist ein Korkstopfen geschoben, der genau in die untere Öffnung der Glasröhre *c* paßt. Drücke ich ihn fest an, so strömt das Gas aus der Spitze in die Röhre, verläßt sie durch die obere Öffnung und brennt, entzündet, mit hellleuchtender Flamme. Wenn ich nun den Korkstopfen lüfte und mit der Glasspitze ganz allmählich nach unten bewege, so wird das Leuchten der Flamme schwächer und schwächer und hört jetzt, bei einer bestimmten Entfernung der Spitze von der unteren Öffnung der Glasröhre ganz auf. Die Erklärung für diese Erscheinung ist einfach. Ähnlich wie das Wasser eines Springbrunnens stürzt der Gasstrom aus der engen Öffnung hervor und reißt Teile der umgebenden Luft mit sich fort in die Glasröhre *c* hinein, welche nun eine Mischung von Leuchtgas und Luft verläßt. Die Flamme leuchtet nicht mehr, wenn die beigemischte Luft ausreicht, allen Kohlenstoff

im Flammeninnern zu verbrennen. Bei dem Versuche ist es nicht notwendig, Spitze und Röhre senkrecht zu halten, es gelingt auch bei geneigter, selbst bei wagrechter Stellung beider Teile, wenn sie sich nur in derselben Richtung befinden.

Stellen wir diese Vorrichtung statt aus Glas, aus Metall her, so haben wir den Blaubrenner, dessen wir uns, wie Sie bemerkt haben werden, vielfach bei unseren Versuchen bedienten. Die Metallröhre, welche auf den Brennerfuß (Fig. 80) über die feine Gasausströmungsöffnung geschraubt ist, hat an ihrem unteren Ende zwei runde Öffnungen für den Luftzutritt. Schließe ich dieselben mit den Fingern (Fig. 81), so wird die Flamme leuchtend. Diese Form ist dem Brenner von R. Bunsen gegeben worden, man nennt ihn daher Bunsen-Brenner.



Fig. 80. Zerlegter Bunsen-Brenner.

Die Gestalt der Flamme ist von der Form der Ausströmungsöffnung abhängig. Die Flamme des Bunsen-Brenners ist in ihrem unteren Teile cylindrisch, baucht sich dann etwas aus und verläuft kegelförmig bis zur Spitze. Hier habe ich einige Aufsatzstücke, die auf die Mündung des Brenners passen (Fig. 82). Das eine läuft in einen breiten Spalt aus und bewirkt eine fächerartige Ausbreitung der Flamme, die anderen sind scheibenförmig gestaltet und seitlich (das eine auch oben) mit ringförmig angeordneten, kleinen Öffnungen versehen. Aus jeder derselben sehen wir blaue Flämmchen hervorzüngeln, die wie ein Kranz die Brennerscheibe umgeben. Wir haben es also ganz in der Hand, der Flamme eine bestimmte Form zu geben oder sie zu teilen, wie es unseren Zwecken am besten entspricht.

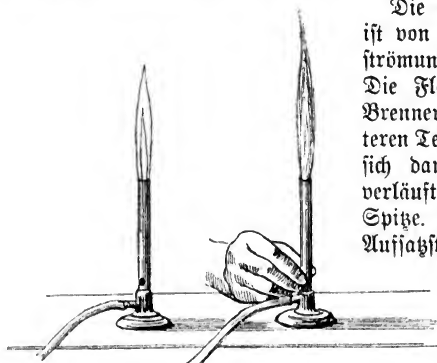


Fig. 81. Das Verschließen der Luftzufuhröffnungen macht die Flamme leuchtend.

Hiervon hat die Technik ausgiebigen Gebrauch gemacht bei der Konstruktion der Gaskoch- und Gasheizapparate, wie sie die kleine Ausstellung neben unserem Experimentiertisch zeigt. Die Verwaltung der städtischen Gasanstalt entsprach gern meiner Bitte und würde uns noch manches andere zur Verfügung gestellt haben, wenn es der Raum erlaubt hätte. Jedoch, das Gebotene dürfte genügen, um zu zeigen, wie vielseitig die Anwendung des Gases zu häuslichen Zwecken ist.

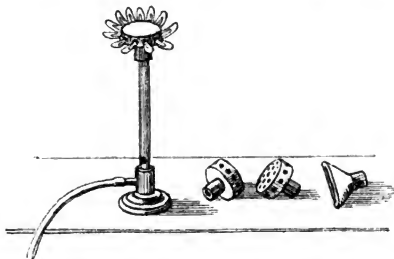


Fig. 82. Bunsen-Brenner mit seitlich durchlöcherter Aufsatzscheibe.

I. Apparate zum Kochen mit Gas.

1. **Der einfache Gaskocher** (Tellerbrenner). Die Brennröhre befindet sich in **horizontaler Lage** fest verbunden mit einem gußeisernen Gestell zur Aufnahme des Kochtopfes. Der nach oben gerichtete scheibenförmige Brennerkopf bewirkt eine kranzartige Ausbreitung der Flamme (wie Fig. 82), die durch allmähliches Auf- und Zudrehen des Gashahns kleiner und größer eingestellt werden kann.

2. **Die Herdplatte** (mit und ohne Bratröhre). Zwei bis sechs einfache Gaskocher sind miteinander durch eine Eisenplatte verbunden, die Kochöffnungen liegen wie bei einem gewöhnlichen Küchenherd nebeneinander und können auch zur Erwärmung eines Bratofens dienen, der nach Bedarf auf die Herdplatte gesetzt wird.

3. **Der Familien-Gaskoch- und Bratherd** ersetzt den gewöhnlichen Küchenherd vollständig. Neben und unter der Herdplatte befindet sich: Brat- und Backapparat, Wasserschiffchen, Wärmschrank u. s. w. In großen Küchen, besonders in Hotels, findet man Gaskochherde mit allem Zubehör zur Herstellung der Speisen für mehrere hundert Personen.

4. Verschiedene Apparate: Gas-Grillapparate zum Braten auf dem Rost. Die Roststäbe werden bis zum Glühen erhitzt und dann das Feuer auf „klein" gestellt. Nach genügender Abkühlung des Rostes wird das Fleisch aufgelegt und ist in wenigen Minuten gar. — Bratroste, bei denen die Flamme von oben auf das Fleisch wirkt. Apparate zum Braten am Spieß. Das Drehen des Spießes erfolgt automatisch durch ein Uhrwerk. Bouillonkessel. Universalapparate für Würste und Fleischwaren bis 15 Schinken fassend (Gasverbrauch zum Garkochen derselben 60—70 Pfg.). — Marzipan- und Baumkuchen-Backapparate, Kaffeeröster u. s. w.

Die Vorteile des Kochens mit Gas liegen auf der Hand, keine Hausfrau, welche sie aus eigener Erfahrung kennen gelernt hat, wird sie missen wollen. Es ist kein Brennmaterial herbei- und keine Asche fortzuschaffen; es ist nur nötig, den Gashahn zu öffnen, um jederzeit, Tag und Nacht, über die Heizquelle zu verfügen. Die Kochtöpfe berußen nicht, wie im Herdfeuer. Zu diesen Vorzügen der Bequemlichkeit und Reinlichkeit kommt ein weiterer, der bei unseren wirtschaftlichen Entschließungen entscheidend zu sein pflegt, die Billigkeit.

Die übliche Art der Unterhaltung des Herdfeuers mit Holz, Torf, Braun- oder Steinkohlen bedeutet immer eine Verschwendung an Brennmaterial, weil sich die Hitze nicht nach Bedarf regulieren läßt. An der eine Stelle glüht die Herdplatte, an einer anderen kommen die Speisen kaum ins Kochen. Lange vor und nach der Mittagszeit klagt die Köchin über Hitze. Die Überlegenheit des Kochens mit Gas liegt in der Möglichkeit jeden Augenblick nach Bedarf sparen zu können. Um die Speisen ins Kochen zu bringen, ist mehr Wärme nötig, als sie im Kochen zu erhalten, die Köchin stellt den Gashahn auf: „Kleine Flamme". So erklärt es sich, daß sich das Kochen mit Gas um etwa ein viertel billiger stellt, wie die gewöhnliche Herdfeuerung.

Spiritus- und Petroleumkochapparate erfordern einen erheblich größeren Kostenaufwand. Um ein Liter Wasser ins Sieden zu bringen, sind erforderlich:

	Zeit	Brennstoff	Kosten
Spiritus	14 Minuten	0,034 Liter	1,7 Pfennig
Petroleum	28 „	0,034 „	0,7 „
Gas	11 „	32,000 „	0,4 „

II. Apparate zum Heizen mit Gas.

A. Zu häuslichen Zwecken. 1. Heißwasser- und Gasbade-Öfen. In einen Metallcylinder (gewöhnlich aus Kupfer), der mit der Wasserleitung und mit der Gasleitung fest verbunden ist, strömen die heißen Verbrennungsgase der im unteren Teil des Ofens angeordneten Gasflammen dem von oben herabrieselnden Wasser entgegen. Zwischenwände verhindern die direkte Berührung des Wassers mit den Flammen und leiten das erwärmte Wasser dem Ausflußrohr zu. Die Temperatur des ausfließenden Wassers wird durch Einstellung des Gas- und Wasserhahns geregelt, so daß man es z. B. ganz in der Hand hat, das Wasser zum Bade fertig ohne weiteres in die Wanne laufen zu lassen. — In Paris sind auf den Straßen in dieser Art eingerichtete Automaten aufgestellt, die nach Einwurf eines Sousstückes einen Eimer kochenden Wassers liefern.

2. Gas-Heizöfen kommen mit Vorteil besonders da zur Verwendung, wo nur zeitweise eine Erwärmung der Räume erwünscht ist, wie in Kirchen, Schulen, Gesellschaftshäusern oder in Lagerräumen, wo ein Schornstein für Kohlenfeuerung fehlt. Neben diesen in einfachster Form nur den praktischen Bedürfnissen Rechnung tragenden Öfen findet man auch vielfach Regenerativ-Gaskamin-Öfen mit Ausnutzung der strahlenden Wärme in Gebrauch, die in ihrer künstlerisch vollendeten Ausführung mit Nickel- und Kupferplattierung und Majolikareliefs die Wohnräume als Schmuckstücke zieren.

B. Zu gewerblichen Zwecken. 1. Gasplätten, direkt durch Gas erwärmte Plätteisen, sind infolge der reinlichen, sicheren und bequemen Handhabung sehr verbreitet. Im sächsischen Vogtlande und anderen Industriebezirken sind Gasplätten fast ausschließlich im Gebrauch zum Plätten von Gardinen, Leinenzeug u. dergl. 2. Brenneisenwärmer. 3. Lötapparate. 4. Leimkocher u. s. w.

Momentane Verbrennung oder Explosion.

In der Brennerröhre des Bunsen-Brenners mischen sich einem Raumteil Leuchtgas etwa zwei Raumteile Luft bei. Das ist eine zur vollständigen Verbrennung unzureichende Menge, im Innern der Flamme kann daher nur ein Bruchteil der

brennbaren Bestandteile verbrennen, der Rest gelangt an den äußeren Flammensaum und hier durch die umgebende Luft zur Verbrennung.

Werden allmählich größere Luftmengen dem Leuchtgas beigemengt, dann gelangt man plötzlich zu einer Mischung, die ein ganz anderes Verhalten zeigt. Der Versuch läßt sich leicht anstellen. Die etwa zwei Liter fassende Flasche *A* (Fig. 83) unterscheidet sich von der gewöhnlichen Flasche dadurch, daß an ihr zwei Öffnungen, eine in der Mitte, die andere seitlich angebracht sind. Erstere ist durch einen Kork verschlossen, in welchem ein etwa 1 m langes und 1 cm weites Glasrohr *b* steckt. In die seitliche Öffnung stecke ich ein Rohrstück *c* und verbinde es durch einen Schlauch mit der Gasleitung, so daß jetzt das Leuchtgas durch *c* in die Flasche strömt. Es kann nur durch *b* entweichen, ich entzünde es mit der nötigen Vorsicht (vergl. S. 58) und es brennt wie eine leuchtende Fackel. Nun entferne ich den Stopfen mit dem Rohrstück *c* aus dem seitlichen Halse der Flasche und schließe den Gashahn. Die aus der oberen Öffnung der Röhre *b* brennende Flamme wird kleiner und leuchtet schwächer. Dauernd dringt durch die freie Öffnung Luft, die noch einmal so schwer ist, wie das in der Flasche befindliche Leuchtgas, mischt sich diesem bei und entleuchtet die Flamme. Immer weniger brennbare Gase verlassen die Röhre *b*. Die Flamme verkleinert sich bis auf wenige Millimeter, aber sie verlischt nicht, sie sinkt in die Röhre *b* hinab, anfangs ganz langsam, dann immer schneller, so daß wir kaum mit

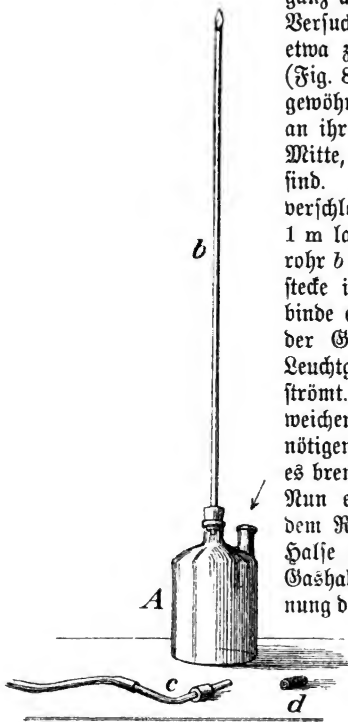


Fig. 83. Bei gesteigerter Zumischung von Luft zu Leuchtgas entsteht allmählich ein explosives Gemisch.

den Augen folgen können und in der Flasche angelangt, veranlaßt sie plötzlich die Explosion des rückständigen Gasgemisches. Da die Flasche offen ist, können sich die bei der Explosion blitzartig erglühenden Gase ausdehnen, es findet daher keine Zertrümmerung der Flasche statt. Der scharf zischende, durchdringende Ton, den wir hörten, läßt auf die Kraft schließen, mit welcher plötzlich die erhitzten Gase aus der Flasche gepreßt wurden.

Dieser Versuch, den ich wiederhole, weil die letzte Erscheinung unerwartet an uns herantrat, zeigt sehr schön, daß die allmählich vermehrte Luftzufuhr

1) die Leuchtkraft der Flamme herabdrückt und bald ganz aufhebt,
2) bei weiterer Steigerung eine Mischung erzeugt, die explosionsartig verpufft.

Genaue Messungen haben ergeben, daß 1 Raumteil Leuchtgas wenigstens 5 Raumteile Luft beigemengt sein müssen, ehe das Gemisch die Eigenschaft zu verpuffen annimmt. Bei dem Verhältnis 1 Teil Leuchtgas zu 6 bis 7 Teilen Luft ist die Explosion am stärksten, sie tritt nicht mehr ein, wenn das Gemisch mehr als 12 Teile Luft enthält.

Wenn zwei Gase miteinander gemischt werden, so durchdringen sie sich gegenseitig, wie wir wissen. Ist das eine Gas brennbar und enthält das andere Sauerstoff, so sind in jedem Teile der Gasmischung die Bedingungen für die Verbrennung gegeben, sobald die Entzündungstemperatur dazu kommt. In einem solchen Gasgemisch pflanzt sich die Entzündung mit der Geschwindigkeit des Schalles (340 m in der Sekunde) fort, es findet eine momentane Verbrennung durch die ganze Masse hindurch statt, das, was wir „Explosion" nennen.

Derartige Explosionen können an solchen Orten, an denen brennbare Gase in die Luft strömen, vorkommen, wenn nicht durch ausreichende Ventilation für Beseitigung der Gase gesorgt wird. Leider werden noch immer bisweilen Kohlenbergwerke von solchen Katastrophen heimgesucht. Die Steinkohlen enthalten ein brennbares Gas eingeschlossen, das nach diesem Vorkommen Grubengas genannt wird. Wenn der Häuer in das Kohlenflötz einschlägt, entweicht es und bildet mit der Luft eine explosive Mischung, die der Bergmann „schlagende Wetter" nennt, weil sie, entzündet, wie mit einem Schlage

explodieren, Tod und Verderben mit sich bringend überall da, wo die Flamme Stollen und Schacht erfüllt.

Vermeiden läßt sich diese schreckliche Gefahr durch gut ventilierte Luftschächte, welche die brennbaren Gase ins Freie führen. Haben sich schlagende Wetter einmal gebildet, dann hat man ängstlich dafür Sorge zu tragen, daß nirgends eine Wärmeentwickelung eintritt, welche die Entzündungstemperatur der schlagenden Wetter erreicht. Ein brennendes Streichholz genügt, die Explosion zu veranlassen. Licht kann der Bergmann aber bei seiner mühevollen Arbeit nicht entbehren.

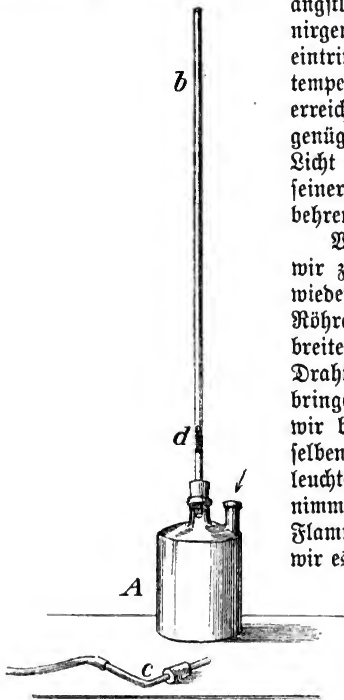


Fig. 84. Ein Stückchen Drahtnetz *d* verhindert die Übertragung der Explosion aus der Röhre *b* in die Flasche *A*.

Wir wollen den Versuch, den wir zuletzt anstellten, noch einmal wiederholen, zuvor aber in die Röhre *b* ein kleines, etwa 1 cm breites Stückchen zusammengerolltes Drahtnetz *d* (Fig. 83 und 84) bringen. Die Erscheinungen, die wir beobachten, sind zunächst dieselben. Die Flamme brennt hellleuchtend aus der Röhre, sehr bald nimmt die Leuchtkraft ab, die Flamme wird kleiner, genau so, wie wir es vorhin sahen. Das Drahtnetz hindert also die Bewegung der Gase nicht. Das Leuchtgas enthält bis zu 40 Prozent Grubengas, die Vorgänge in unserer Flasche, in der sich fortwährend Luft dem Leuchtgas beimischt, sind denen ungemein ähnlich, die in einem Bergwerk stattfinden, wenn Grubengas in die Luft gelangt. Allmählich wird die Mischung explosiv und die „schlagenden Wetter" sind da. Richten wir jetzt unsere Blicke auf die kleine Flamme, die kaum sichtbar noch immer aus der Röhre brennt. Jetzt fährt die Flamme herab — aber sie macht Halt an dem

Drahtnetz! Oberhalb desselben brennt sie weiter. Das Metall leitet die Wärme so gut, daß sich die Hitze des kleinen Flämmchens verteilt und herabsinkt unter die Entzündungstemperatur des explosiven Gasgemisches in der Flasche, das sofort verpufft, wenn ich ein brennendes Streichholz durch den offenen seitlichen Hals in die Flasche fallen lasse. (Der Versuch wird ausgeführt und die Explosion tritt ein.)

Die Davysche Sicherheitslampe.

Das Ergebnis des Versuchs, daß ein feinmaschiges Drahtnetz einer Explosion Halt zu gebieten vermag, hat H. Davy (i. J. 1816) bei der Konstruktion seiner Sicherheitslampe verwertet. Diese Lampen, wie eine hier vor uns steht (Fig. 85), sind für den Bergmann von unschätzbarem Wert.

Auf den unteren, aus Messing gefertigten Teil der Lampe, der Ölbehälter und Docht enthält, ist in einer metallenen Fassung zunächst ein kurzer Glascylinder, darüber eine nach allen Seiten hin geschlossene Kappe von engmaschigem Drahtnetz (auf 1 qcm etwa 100 Maschen) aufgeschraubt. Eisenstäbe schützen Cylinder und Kappe gegen Zerbrechen beim Anstoßen oder Hinfallen der Lampe.



Fig. 85. Die Davysche Sicherheitslampe.

Die Lampe läßt sich nur mit Hilfe eines Schlüssels öffnen, den der das Anzünden überwachende Beamte zurückbehält, wenn er den zur Grube fahrenden Bergleuten die Lampen übergiebt.

Die schlagenden Wetter können wohl durch das feinmaschige Drahtnetz in das Innere der Lampe gelangen und sich hier entzünden, aber die Entzündung pflanzt sich nicht nach außen fort, weil das Metall die Wärme verteilt und sich daher nicht bis zur Entzündungstemperatur der schlagenden Wetter erhitzt.

In der Regel deuten Trübbrennen und Verlängerung der Flamme schon vorher die drohende Gefahr an, so daß der aufmerksame Bergmann Zeit gewinnt, sich derselben zu entziehen.

Ursachen des Verlöschens des Feuers.

Wir sahen, daß es möglich ist, einem explosionsartig verlaufenden Verbrennungsprozeß Einhalt zu gebieten durch Herabminderung der Temperatur. Dasselbe sind wir bemüht zu thun, wenn es sich darum handelt, einen Brand gewöhnlicher Art zu löschen. Denn wenn wir Wasser in das Feuer gießen, beabsichtigen wir nichts anderes, als den brennenden Körper unter seine Entzündungstemperatur abzukühlen. Je größer die Glut ist, um so größerer Wassermassen bedarf es, um den gewünschten Erfolg zu erreichen.

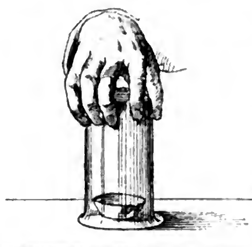


Fig. 86. Löschen einer Flamme durch Abschließen der Luft.

Ein Feuer läßt sich aber auch löschen, indem wir ihm die Luft und mit ihr den Sauerstoff entziehen. Benzin fängt sehr leicht Feuer und brennt, wenn ich einige Tropfen, die ich in das Schälchen (Fig. 86) gieße, entzünde, mit heller, weit über das Schälchen herausragender Flamme. Ich decke jetzt mit fester Hand ein Glas über das Schälchen und die Flamme verlischt, weil ihr der Sauerstoff fehlt. Dieselbe Wirkung hätte ich erzielt, wenn ich ein (am besten nasses) Tuch über die Schale gedeckt hätte, sofern es mir dabei gelungen wäre, die Luft vollständig abzuschließen. Auf diese Weise läßt sich oft mit Teppichen, Decken oder dicken Tüchern ein Brand im kleinen ersticken, wenn es an Wasser zum Löschen fehlt.

Endlich verlischt jeder Brand von selbst, wenn die dritte Bedingung, die Gegenwart des brennbaren Körpers beseitigt, d. h. wenn alles dem Feuer Erreichbare verbrannt ist. Jeder Brand nimmt daher auch ohne unser Zuthun sein Ende, allerdings oft nur, indem er Verheerung und Verwüstung, Schrecken und Elend als sein Gefolge zurückläßt. An uns ist es, rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen und bereit zu halten, welche die Erfahrung und die richtige Erkenntnis des Verbrennungsprozesses gelehrt haben

Wohlthätig ist des Feuers Macht,
Wenn sie der Mensch bezähmt, bewacht.

VI. Die unvollständige Verbrennung.

Das Rußen der Lampen und das Rauchen der Schornsteine. Einwirkung der Hitze auf Steinkohlen bei Abschluß von Luft. (Leuchtgasbereitung.) Kohlendunst und Kohlenoxyd. Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht Kohlensäure. Zusammensetzung des Kohlenoxyds und der Kohlensäure. Chemische Zeichen und Formeln. (Atomgewichte.)

Das Rußen der Lampen und das Rauchen der Schornsteine.

Wenn wir des Abends die Petroleumlampe anzünden, pflegen wir uns zu beeilen den Cylinder aufzusetzen, weil sonst die Flamme rußt. — Der Docht saugt mehr Petroleum auf, als der Sauerstoff, der mit der Luft an die Flamme herantritt, zu verbrennen vermag. Durch die Hitze der Flamme werden die Kohlenwasserstoffe, aus denen das Petroleum besteht, zerlegt in: Wasserstoff, der zuerst verbrennt, und in Kohlenstoff, von dem ein Teil unverbrannt als Ruß entweicht. Wir haben das Bild einer unvollständigen Verbrennung. Der Cylinder, den wir aufsetzen, wirkt saugend, wie ein Schornstein, er saugt soviel Luft zur Flamme, daß eine vollständige Verbrennung stattfinden kann und der Kohlenstoff innerhalb der Flamme zum Erglühen kommt.

Dieselbe Erscheinung der unvollständigen Verbrennung, das Rußen, tritt ein, wenn wir das richtige Verhältnis zwischen Petroleum- und Luftzufuhr dadurch ändern, daß wir den Docht höher schrauben, oder den Luftzutritt in irgend einer Weise hindern. Das kann auch zufällig geschehen, indem sich Staub und Schmutz in dem durchlöcherten und durchbrochenen Teil des Brenners unterhalb des Cylinders festsetzen und die Öffnungen verengen. Eine solche unvollständige Verbrennung ist immer unwirtschaftlich. Sie bedeutet im vorliegenden Falle eine Einbuße an Licht. Das ist aber nicht alles, wir empfinden es sehr bald unangenehm, wenn im Zimmer die Lampe blakt.

7*

Und wie steht es in dieser Beziehung mit unseren Öfen, wie regeln wir hier die Verbrennung, wie nutzen wir hier das Brennmaterial aus? Und wie rauchen zuweilen die Schornsteine auf den Häusern und insbesondere die Fabrikschornsteine! Bei diesen fällt es mehr in die Augen, da sieht man oft dichte, schwarze Rußwolken, also unverbrannten Brennstoff, in die Luft strömen — und das bedeutet eine Verschwendung von Wärme.

Wir wissen auf Grund unserer Erfahrungen, daß es in allen diesen Fällen an Luft, an dem nötigen Sauerstoff fehlt — aber auch das Zuviel bringt Nachteile, ebenso wie das Zuwenig. Die bestmöglichste Ausnutzung des Brennmaterials erfordert nicht allein eine Ofenkonstruktion, die sich auf die richtige Erkenntnis des Verbrennungsprozesses stützt, sondern auch eine richtige Beaufsichtigung und Regulierung des Verbrennungsprozesses selbst.

Wollen wir hierüber ein Urteil erhalten, so ist es zunächst erforderlich, uns das Verhalten des Brennmaterials bei ungenügendem Luftzutritt, oder besser noch, bei gänzlichem Luftmangel zu vergegenwärtigen.

Einwirkung der Hitze auf Steinkohlen bei Abschluß von Luft. (Leuchtgasbereitung.)

Das Glasgefäß *A* (Fig. 87) ist ungefähr zu einem Drittel mit gepulverter Steinkohle gefüllt, die wir erhitzen wollen. Da die Erfahrung gelehrt hat, daß sich hierbei Gase und Dämpfe entwickeln, verbinde ich das Glasgefäß *A*, welches die Steinkohle enthält und das wir Retorte nennen wollen, mit einer Vorlage *B* und dann mit dem Gasbehälter *G*, der mit Wasser gefüllt ist. Nun erhitze ich die Steinkohle in der Retorte mit einer kräftigen Flamme. Unter diesen Verhältnissen kann eine Verbrennung der Steinkohle nicht stattfinden. Warum nicht? Weil eine notwendige Bedingung, die Gegenwart von Sauerstoff (Luft) fehlt.

Das Erhitzen von festen Körpern bei Abschluß von Luft bezeichnet man mit „trockener Destillation". Wir unterwerfen also jetzt Steinkohlen in der Retorte der trockenen Destillation, bei welcher sie, wie wir sehen werden, eine tiefgreifende Veränderung erfahren.

Unter dem Einfluß der Hitze findet eine Zerlegung der Steinkohlen statt, bei welcher:

1) gasförmige Produkte entstehen, die sich in dem Gasbehälter *G* ansammeln und das Wasser aus demselben verdrängen;

2) Dämpfe auftreten, die sich in der Vorlage *B* verdichten und zwar zu einer wässerigen Flüssigkeit (Ammoniakwasser), zu einer dicken, schwarzen Masse (Teer);

3) ein fester, nicht flüchtiger, grauschwarzer Rückstand (Koks) in der Retorte zurückbleibt.

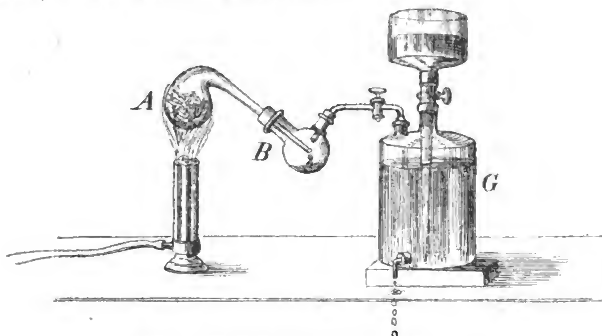


Fig. 87. Trockene Destillation von Steinkohle.

Dieser Vorgang, den wir uns hier in kleinem Maßstab vergegenwärtigen, hat eine große technische Bedeutung. In Königsberg werden in dieser Weise jährlich 500000 Centner Steinkohlen zersetzt, in Berlin weit über 10 Millionen Centner, also im Durchschnitt über 25000 Centner täglich — und zwar auf den Gasanstalten.*)

*) Hier werden Retorten aus Chamotte, etwa 3 m lang, 30 bis 50 cm weit, von eiförmigem Querschnitt, von denen bis 9 Stück durch eine gemeinsame Feuerung zur Weißglut erhitzt werden, mit je 2 bis 3 Centner Steinkohlen gefüllt und rasch durch eiserne Deckel verschlossen. Durch senkrecht aufsteigende Röhren entweichen Gase und Dämpfe, die zunächst zur Abscheidung des Teers und Ammoniakwassers gekühlt, dann gereinigt und hierauf in großen Behältern bis zu 75000 cbm und mehr zur Verwendung aufgespeichert werden. Nach 4 bis 6 Stunden hört die Gasentwickelung auf. Man entfernt die Deckel von den Retorten, zieht den Koks mit langen eisernen Haken heraus, löscht ihn mit Wasser ab und füllt die glühenden Retorten mit einer neuen Charge Kohlen. Der Betrieb dauert Tag und Nacht ununterbrochen fort, bis der Ofen (nach 1 bis 2 Jahren) schadhaft wird.

Es liefern 100 kg Kohlen ungefähr:

15	kg	Leuchtgas (30 cbm)
5	„	Teer
6	„	Ammoniakwasser
74	„	Koks
100	kg.	

Wie die Steinkohlen selbst, sind sämtliche Zersetzungsprodukte (mit Ausnahme des Ammoniakwassers) brennbar — aber die Art der Brennbarkeit ist eine sehr verschiedene. Wir wissen, wie leicht entzündlich das Leuchtgas ist und wie schnell es verbrennt. Auch der Teer läßt sich leicht entzünden. Tauche ich einen Glasstab in das Gefäß mit Teer, das hier vor mir steht und nehme ich ihn wieder heraus, so bleibt etwas von der dickflüssigen, schwarzen Masse hängen, die nicht sogleich abtropft, sondern wie ein Faden sich herabsenkt. Es gelingt mir, denselben mit einem brennenden Streichholz zu entzünden und wir sehen jetzt, wie der Teer mit heller, dichte Rußwolken um sich verbreitender Flamme verbrennt. Der Koks dagegen ist schwer verbrennlich. Wenn ich ein Stück in der Flamme des Bunsen-Brenners zum Glühen erhitze und aus der Flamme entferne, so kühlt die Luft den glühenden Koks sehr bald unter seine Entzündungstemperatur ab, der Verbrennungsprozeß kommt zum Stillstand, und das Glühen hört auf.

In unseren Öfen pflegen wir zunächst ein Holzfeuer anzumachen und legen, wenn dieses ordentlich brennt, die Kohlen darauf. Die Hitze des Holzfeuers veranlaßt die Zersetzung der Kohlen. Zieht der Ofen gut, dann findet eine vollständige Verbrennung der zuerst entweichenden gasförmigen und teerigen Produkte statt und der in Glut geratene Koks verbrennt allmählich. Fehlt es aber an Luft, so scheidet sich Kohlenstoff ab, der sich im Ofenrohr absetzt, oder als Ruß aus dem Schornstein entweicht. Der verkokte Anteil der Kohlen kann nicht verbrennen, und das Feuer geht aus.

Das Sinken des Wasserspiegels im Gasbehälter *G* Fig. 87 (der Versuch dauert noch fort), giebt uns einen Anhaltspunkt zur Beurteilung der Gasmengen, die sich nach und nach aus den Kohlen entwickeln. Sie werden bemerkt haben, daß anfangs, also im ersten Stadium der Zersetzung das Wasser schneller abfloß, mithin sich mehr Gas entwickelte, als jetzt, und

wir werden sehen, daß die Gasentwickelung immer langsamer wird und schließlich ganz aufhört. — Die Möglichkeit, daß unvollständig verbrannte Gase und Ruß entweichen, liegt daher besonders dann vor, wenn neue Kohlen in den Ofen kommen. Es trifft fast immer zu, wenn wir einen Schornstein stark rauchen sehen, daß unmittelbar vorher frisches Brennmaterial aufgeschüttet wurde.

Der richtig geschulte Heizer verfährt folgendermaßen: er schiebt zunächst den noch vorhandenen glühenden Koks nach dem hinteren Teil des Ofens und macht den vorderen Teil des Rostes frei, auf welchen er die Kohlen legt. Dann erfolgt die Erhitzung der Kohlen allmählich von hinten nach vorn, die frei werdenden Gase werden, indem sie die dahinter liegende glühende Koksschicht passieren, genügend erhitzt, um vollständig verbrennen zu können und der Schornstein raucht nicht, denn die Produkte der vollständigen Verbrennung der Steinkohlen, Kohlensäure und Wasserdampf, sind dem Auge nicht sichtbar. Über dem Schornstein des richtig bedienten Ofens zittern die warmen Verbrennungsgase oder es erhebt sich ein weißes, zartes Wölkchen verdichteten Wasserdampfes.

Kohlendunst und Kohlenoxyd.

Der schwarze Ruß ist das sichtbare, aber nicht das einzige Produkt der unvollständigen Verbrennung, daneben treten noch andere auf, die man im gewöhnlichen Leben mit „Kohlendunst" bezeichnet. Wenn die Zersetzung der Kohlen vollendet, das Gas- und Dampfförmige verbrannt und nur noch glühender Koks zurückgeblieben ist, dann ist es unvorteilhaft, wenn zuviel Luft in den Ofen strömt. Erstens kann die kalte Luft den glühenden Koks allmählich unter seine Entzündungstemperatur abkühlen, dann bleiben unverbrannte Koksstücke zurück; zweitens entführt die überschüssige Luft Wärme durch den Schornstein, wir heizen den Schornstein, und der Ofen kühlt schnell ab. Das hat die Erfahrung seit langer Zeit gelehrt und eine Vorrichtung zur Regulierung des Luftzutritts, wie sie auch die Ofenklappe war, ist unentbehrlich. Die Ofenklappen sind durch Polizeivorschrift abgeschafft, weil Kohlendunst ins Zimmer drang, wenn sie zu früh geschlossen wurden, oder wenn sie, bei mangelhafter Beschaffenheit, von selbst zuklappten und

auf diese Weise öfters zufällige oder auch absichtlich herbeigeführte Unglücksfälle vorkamen. An ihre Stelle sind als Ersatz die fest schließenden eisernen Ofenthüren getreten. Wenn wir dieselben rechtzeitig zuschrauben, dann kann keine überschüssige Luft in den Ofen gelangen. Wir haben dieselben Vorteile, welche die Klappe bietet, ohne, wenn der Ofen sich in gutem Zustande befindet, ihre Nachteile befürchten zu müssen.

Die schädliche Wirkung des Kohlendunstes, der auch bei fest verschlossener Thür durch Risse und Spalten schadhafter Öfen ins Zimmer gelangen kann, wird durch ein farb- und geruchloses Gas, das neben anderen, dunstig riechenden Produkten auftritt, veranlaßt. Dieses Gas — das Kohlenoxyd — tritt immer bei der unvollständigen Verbrennung von Steinkohlen, Torf, Holz auf. Auch bei der trockenen Destillation der genannten Brennmaterialien entsteht Kohlenoxyd, es ist daher auch im Leuchtgas vorhanden.



Fig. 88. Nachweis von Kohlenoxyd durch Palladiumpapier.

Das Kohlenoxyd ist ungemein giftig. Enthält die Luft auch nur ein Tausendstel Kohlenoxyd, so treten beim Einatmen derselben sehr bald krankhafte Erscheinungen: Kopfweh, Schwindel, Ohnmacht ein; steigert sich der Kohlenoxydgehalt auf vier Tausendstel, so wirkt die Luft nach den Untersuchungen Pettenkofers in 30 bis 60 Minuten tödlich.

Man kann Kohlenoxyd in der Luft erkennen, wenn man mit Palladiumchlorür getränkte Papierstreifen, wie Sie hier einige sehen, aufhängt. Bei Gegenwart von Kohlenoxyd werden die braunen Papierstreifen bald schwarz. Das Leuchtgas enthält 6 bis 8 Prozent Kohlenoxyd und ist daher sehr giftig. Ob durch undichte Stellen in der Leitung oder durch offengebliebene Hähne Leuchtgas in einen Raum gelangt ist, läßt sich, auch wenn wir es nicht riechen, infolge seines Kohlenoxydgehaltes mit Hilfe von Palladiumpapier leicht nachweisen. Wir wollen etwas Leuchtgas in diesen Glaskolben (Fig. 88) einströmen lassen und einen Palladiumpapierstreifen einhängen, in kurzer Zeit wird er sich tiefschwarz färben.

Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht Kohlensäure. Zusammensetzung des Kohlenoxyds und der Kohlensäure. Chemische Zeichen und Formeln. (Atomgewichte.)

Die genannten Eigenschaften des Kohlenoxyds sind wohl geeignet, unser weiteres Interesse für das merkwürdige Gas in Anspruch zu nehmen und insbesondere die Frage nach seiner Zusammensetzung in uns anzuregen. Kohlenoxyd ist brennbar, wie wir sehen, wenn ich das im Gasbehälter *G* (Fig. 89) uns zur Verfügung stehende Gas entzünde, es brennt mit schön blauer Flamme. Was entsteht bei der Verbrennung des Kohlenoxyds? Im Hinblick auf diese Frage stülpe ich über

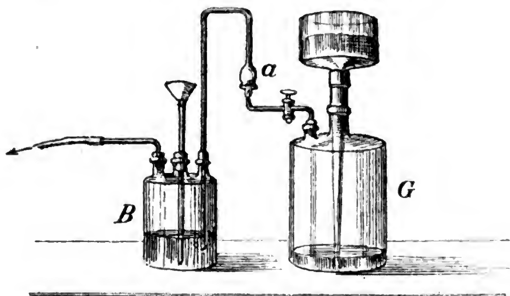


Fig. 89. Beim Verbrennen von Kohlenoxyd entsteht Kohlensäure.

das Flämmchen einen kleinen Glastrichter *a*, in den wir mit Hilfe eines Aspirators die Verbrennungsgase ansaugen wollen. Zwischen Trichter und Aspirator ist noch eine Flasche *B* eingeschaltet, in die ich etwas Kalkwasser gieße, so daß nun die Verbrennungsgase gezwungen werden, ihren Weg zum Aspirator durch das Kalkwasser zu nehmen

Das Kalkwasser trübt sich. Denselben Vorgang haben wir beobachtet, als wir die Eigenschaften der Kohlensäure studierten und Kalkwasser mit Kohlensäure zusammenbrachten. Wenn wir den festen, weißen Körper, der sich hier vor unseren Augen immer reichlicher abscheidet, auf einem Papierfilter sammeln und mit Essig oder einer anderen Säure übergießen, so erhalten wir ein Gas, welches in der That nichts anderes als Kohlen-

säure ist. Also der Versuch lehrt, daß bei der Verbrennung von Kohlenoxyd Kohlensäure entsteht und wenn wir nach weiteren Verbrennungsprodukten suchen, finden wir nichts anderes. Bei der Verbrennung von Kohlenoxyd entsteht nur Kohlensäure. Verbrennung ist aber, wie wir wissen, nichts anderes als chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff.

Wollen wir diesen Vorgang in einer Gleichung zum Ausdruck bringen, so können wir schreiben:



Kohlenoxyd + Sauerstoff = Kohlensäure.

Nun erinnern wir uns aber auch des Resultates früherer Versuche (S. 73), daß bei der Verbrennung von Kohlenstoff Kohlensäure entsteht. Wir sind daher auch berechtigt



Kohlenstoff + Sauerstoff = Kohlensäure

zu schreiben.

Diese beiden Gleichungen ermöglichen es uns, auf einen Bestandteil des Kohlenoxyds zu schließen. In der Kohlensäure sind die Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff enthalten, immer, überall, gleichgültig, wie und wo sie entstand. Da auch Kohlenoxyd und Sauerstoff Kohlensäure geben, muß im Kohlenoxyd Kohlenstoff enthalten sein.

In den vorstehenden Gleichungen haben wir die Beobachtungen in der Weise zum Ausdruck gebracht, wie es bis Ende vorigen Jahrhunderts üblich war. Sie sind der Ausdruck über die Art und Weise, über die Qualität der Erscheinung, sagen uns aber nichts über die Mengenverhältnisse, in denen die Körper aufeinander wirken. Nehmen wir die Wage zur Hand und verfolgen wir — was sich hier in wenigen Minuten nicht durchführen läßt — die Vorgänge mit der Wage, da kommen wir zu folgenden Resultaten:



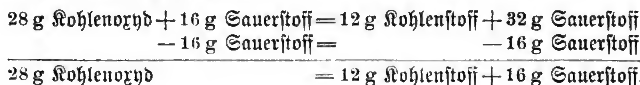
28 g Kohlenoxyd + 16 g Sauerstoff = 44 g Kohlensäure



12 g Kohlenstoff + 32 g Sauerstoff = 44 g Kohlensäure.

Diese Gleichungen tragen den Mengenverhältnissen Rechnung und erlauben uns weitere Folgerungen.

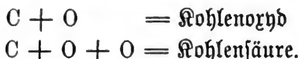
Wenn zwei Größen einer dritten gleich sind, so sind sie untereinander gleich, also:



28 g Kohlenoxyd + 16 g Sauerstoff = 12 g Kohlenstoff + 32 g Sauerstoff
— 16 g Sauerstoff = — 16 g Sauerstoff

28 g Kohlenoxyd = 12 g Kohlenstoff + 16 g Sauerstoff.

Die Schreibweise, deren wir uns bei Aufstellung der Gleichungen bedienten, ist umständlich; um sie übersichtlicher zu gestalten, bedienen wir uns der chemischen Zeichen. Als solche wurden die Anfangsbuchstaben der lateinischen oder griechischen Namen der Elemente gewählt, z. B. C von Carbonium für Kohlenstoff, O von Oxygenium für Sauerstoff u. s. w., aber mehr noch, mit diesen Zeichen denkt sich der Chemiker stets eine ganz bestimmte Gewichtsmenge des Elementes verknüpft, die für die verschiedenen Elemente verschieden, für ein und dasselbe Element immer dieselbe ist.

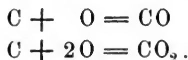


So bedeutet C immer 12 Gewichtseinheiten Kohlenstoff
O immer 16 Gewichtseinheiten Sauerstoff
u. s. w.

Acceptieren wir diese Zeichen, so können wir die Resultate, daß sich 12 g Kohlenstoff mit 16 g Sauerstoff zu Kohlenoxyd und 12 g Kohlenstoff mit 32 g Sauerstoff zu Kohlensäure vereinigen, in folgenden einfachen Gleichungen zum Ausdruck bringen:

$$C + O = \text{Kohlenoxyd}$$
$$C + O + O = \text{Kohlensäure.}$$

Faßt man das Gleiche zusammen und drückt man die Verbindungen durch Aneinanderlagern der Zeichen aus, so gelangt man zu der Schreibweise, wie sie in chemischen Lehrbüchern allgemein üblich ist:



$$C + O = CO$$
$$C + 2O = CO_2.$$

In ähnlicher Weise können wir die Vereinigung von 28 g Kohlenoxyd und 16 g Sauerstoff zu 44 g Kohlensäure in die Formel



$$CO + O = CO_2$$

zusammenfassen.

Diese Formeln bringen unsere Erfahrungen in ungemein einfacher Weise zum Ausdruck und stehen mit denselben in vollem Einklang. Bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Körper entsteht, wenn es an Luft fehlt (nur wenig Sauerstoff vorhanden ist), Kohlenoxyd, bei reichlichem Luftzutritt entsteht bei der Verbrennung (Gegenwart von viel Sauerstoff) Kohlensäure. Kohlenoxyd erscheint uns als Zwischenprodukt der Verbrennung des Kohlenstoffs zur Kohlensäure.

In gleicher Weise wie für Kohlenstoff und Sauerstoff sind für alle anderen Elemente Zeichen eingeführt, die zugleich eine bestimmte Gewichtsmenge ausdrücken, die wir uns auch mit dem kleinsten Teilchen, welches in eine chemische Verbindung eintritt, verknüpft denken und die wir Atomgewicht nennen. In der Tabelle (S. 137), welche die Zusammenstellung der Elemente enthält, sind diese Zeichen und die Atomgewichtszahlen aufgeführt.

VII. Arbeit. — Wärme. — Licht.

Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit. Das Thermometer und die Wärmeeinheit. Mechanisches Wärmeäquivalent. Wärme- und Lichtstrahlen. Umwandlung von Wärme in Licht. Incandescenzbeleuchtung. Auersches Glühlicht. Weißes und farbiges Licht. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. Spektralanalyse. Die Fraunhoferschen Linien vermitteln den Nachweis irdischer Stoffe auf der Sonne. (Helium.)

Umwandlung von Arbeit in Wärme und von Wärme in Arbeit. Das Thermometer und die Wärmeeinheit. Mechanisches Wärmeäquivalent.

Früher betrachtete man die Wärme und das Licht als etwas Materielles, man sprach von Wärme- und Lichtstoff. Wärme definierte man als: „diejenige Substanz, deren Eintritt in unsern Körper das Gefühl der Wärme, deren Austritt das Gefühl der Kälte in uns erregt". Diese Auffassung ließ jedoch eine Reihe von Erscheinungen, die wir fast täglich beobachten, insbesondere die Entstehung von Wärme durch Reibung, Stoß und andere mechanische Mittel unerklärt. Man wußte sehr wohl, daß die Bewegung der Räder das Heißlaufen der Wagenachsen zur Folge hat, wenn sie nicht genügend gefettet werden, man wußte, daß wilde Völkerstämme es verstehen, durch Reiben von Holz an Holz sich Feuer zu verschaffen, aber man beachtete dies nicht weiter, bis die Versuche des Grafen Rumford im Jahre 1798 die allgemeine Aufmerksamkeit der gebildeten Welt auf sich lenkten. Rumford war damals in München mit dem Bohren von Kanonen beschäftigt. Die bedeutende Wärme, die sich hierbei entwickelte, gab ihm die Anregung, einen besonderen Apparat zu konstruieren, um die durch Reibung erzeugte Wärme zu untersuchen. Der bewegliche Teil des Apparates wurde durch Pferde um seine Achse gedreht und es gelang, 9 l Wasser in $2^1/_2$ Stunden ins Kochen zu bringen.

Immerhin vergingen noch 44 Jahre, bis der Heilbronner Arzt Dr. Rob. Mayer die Beziehung zwischen Arbeit und Wärme durch Berechnung des mechanischen Äquivalentes der Wärme zahlenmäßig feststellte und damit unsere heutige Ansicht über das Wesen der Wärme sicher begründete. Wärme ist nichts anderes als: eine Art der Bewegung, wie der Schall, wie das Licht.

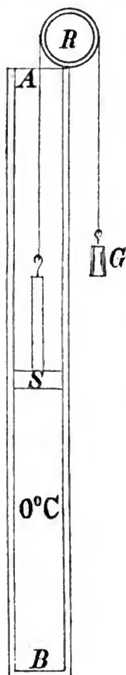


Fig. 90.

Die Änderungen, welche die Körper durch die Wärme erfahren, lassen sich am leichtesten im gasförmigen Zustande beobachten und messen. Denken wir uns einen langen Cylinder, der unten geschlossen, oben offen ist (*AB* Fig. 90). In demselben sei ein Stempel *S* luftdicht schließend ohne Reibung beweglich, dessen Eigengewicht durch ein über die Rolle *R* gelegtes Gegengewicht *G* ausbalanciert ist. In dem vom Stempel *S* und dem Boden *B* des Cylinders begrenzten Raum befindet sich ein bestimmtes Luftvolum *V*. Wird dasselbe erwärmt, so dehnt es sich aus und hebt den Stempel *S* in die Höhe. Um wie viel, läßt sich leicht messen. Diese Messungen ergeben, daß aus *V* von 0° beim Erwärmen

auf 1° C wird $V + \frac{1}{273} V$

„ 2° C „ $V + \frac{2}{273} V$

„ 3° C „ $V + \frac{3}{273} V$

. . . .

„ t° C „ $V + \frac{t}{273} V$

d. h. jede Temperaturerhöhung von 1° C bedingt eine Raumvergrößerung von $\frac{1}{273}$; bei einer Erwärmung auf 273° C verdoppelt sich mithin das Luftvolum.

Unter diesen Verhältnissen vollführt die erwärmte Luft eine bestimmte Arbeit. Denn wenn sie den Stempel nach oben bewegt, hebt sie die Last der darüber befindlichen Atmosphäre mit, und wir wissen, daß das Gewicht einer Luftsäule von 1 qcm Querschnitt 1 kg beträgt. Die gehobene Last ist also

eine bestimmte, die sich leicht berechnen läßt. Beträgt die Oberfläche des Stempels 100 qcm, so ist sie gleich 100 kg. Wie hoch diese Last beim Erwärmen der Luftsäule *SB* um 1° C gehoben wird, ergiebt der Versuch. Ist die Entfernung *SB* 273 cm, so beträgt die Hubhöhe für jeden Grad C 1 cm. —

Wenn wir nach dem Thermometer sehen, um zu erfahren, wie warm oder kalt es ist, lesen wir den Teilstrich der Skala ab, bis zu welchem die Quecksilbersäule gerade reicht. Die Teilung ist für jedes Thermometer besonders herzustellen. Hierbei verfährt man so, daß man zunächst die festen Punkte des Thermometers 1) den Eispunkt, durch Eintauchen in schmelzendes Eis, 2) den Siedepunkt, durch Einsenken in strömenden Wasserdampf, bestimmt. Der Abstand zwischen den beiden festen Punkten wird in eine bestimmte Anzahl gleicher Teile (Grade) geteilt.

Als Fahrenheit (geb. 1686 zu Danzig) dem Thermometer die jetzt noch übliche Form gab, teilte er diesen Abstand in 180 Grade und wählte als Nullpunkt die größte Kälte, die er künstlich (durch Mischen von Schnee und Kochsalz) zu erreichen vermochte — sie lag 32° unter dem Eispunkt. Seine Zeitgenossen, der französische Physiker Réaumur und der schwedische Mathematiker Celsius, machten den Eispunkt zum Nullpunkt der Skala und teilten den Abstand bis zum Siedepunkt, ersterer in 80, letzterer in 100 Teile. Die Gradeinteilung der Thermometerskala ist also etwas Willkürliches. Bei uns ist für den häuslichen Gebrauch die Réaumursche Gradeinteilung noch sehr verbreitet, oft ist aber auch zugleich die Skala nach Celsius angebracht. In England findet man fast nur Thermometer nach Fahrenheit in den Wohnungen. Für meteorologische Beobachtungen und für wissenschaftliche Untersuchungen ist überall das hundertteilige Thermometer (nach Celsius) ausschließlich im Gebrauch.

Thermometergrade

nach	Eispunkt	Siedepunkt	(Diff.)
Fahrenheit	32°	212°	180°
Réaumur	0°	80°	80°
Celsius	0°	100°	100°

Das Thermometer giebt uns somit nur eine bestimmte Wärmestufe an, wie sie in den verschiedenen Thermometerskalen zum Ausdruck kommt.

Zum Messen von Wärme bedient man sich allgemein einer Einheit, die man mit „Kalorie" bezeichnet. Eine Kalorie oder Wärmeeinheit ist diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 C erhöht.

Bei den Betrachtungen, die wir anstellten, um zu erkennen, wie die Wärme imstande ist, Arbeit zu leisten, haben wir uns zwar das Messen dieser Arbeit vergegenwärtigt, nicht aber die dabei verbrauchte Wärmemenge berücksichtigt. Thut man dies, würde man also den Versuch so anstellen, daß man zugleich imstande ist, die verbrauchte Wärmemenge in Kalorien zu messen, so würde die Beobachtung ergeben, daß eine Kalorie eine Arbeit zu leisten vermag, genau so groß, wie diejenige, welche erforderlich ist, um 424 Kilogramm ein Meter hoch zu heben; man nennt diese Arbeit das mechanische Wärmeäquivalent.

1 Kalorie = 424 Kilogrammmeter.

In dem mechanischen Wärmeäquivalent kommt sowohl die Verwandlung von Wärme in Arbeit, als auch die Verwandlung von Arbeit in Wärme zum Ausdruck. Es sagt zugleich, daß wenn ein Gewicht von 424 kg beim Herabfallen aus einer Höhe von 1 m aufschlägt, soviel Wärme entsteht wie nötig ist, um 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 C zu erwärmen.

Um 1 kg Eis von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln, sind 80 Kalorien erforderlich. Diese Wärmemenge entspricht einer Arbeit von 80×424 Meterkilogramm, die lediglich verbraucht wird, um die kleinsten Teilchen aus ihrer starren Eislage in die leichtbewegliche Wasserlage zu bringen. Um 1 kg Wasser von 100^0 in Dampf von 100^0 C überzuführen, sind 536,5 Kalorien erforderlich, die gleiche Wärmemenge kommt wieder zum Vorschein, wenn 1 kg Wasserdampf von 100^0 sich rückwärts zu Wasser verdichtet u. s. w.

Für alle praktischen Vorrichtungen, bei denen Wärme in Arbeit umgesetzt wird, insbesondere für den Betrieb von Maschinen, ist die Kenntnis des mechanischen Wärmeäquivalents von großer Bedeutung. Wie weit sich die Leistungsfähigkeit einer Maschinenanlage dem Erreichbaren nähert, ergiebt der Vergleich der verbrauchten Wärmemenge und der Arbeitsleistung, man wird hiernach bemessen können, ob und in wie weit ein höherer Nutzeffekt, wie der erzielte, möglich ist.

Wärme- und Lichtstrahlen. Umwandlung von Wärme in Licht. Incandescenzbeleuchtung. Auersches Glühlicht.

Ein glühendes Stück Eisen, das auf einen Ambos gelegt wird, kühlt sich allmählich ab. Es giebt wie jeder erhitzte Körper seine Wärme an die Umgebung ab: 1) durch Leitung, der Ambos wird warm, und 2) durch Strahlung, das ist die Wärme, die wir empfinden, wenn wir die Hand seitlich in die Nähe des glühenden Eisens bringen. So gelangen die Sonnenwärme und das Sonnenlicht durch Strahlung zu uns.

Diese Art der Fortpflanzung der Wärme und des Lichtes vollzieht sich in derselben Weise, wie die Fortpflanzung des Schalles. Die Saite tönt, nachdem sie in Schwingungen versetzt wurde, die Schwingungen der Saite teilen sich der Luft mit und die Luftschwingungen treffen unser Ohr. Wenn mindestens 20 und nicht über 40000 solcher Schwingungen in der Sekunde an unser Ohr gelangen, hören wir Töne. Die Wärme und das Licht der Sonne werden uns übermittelt durch Schwingungen des Äthers, der den ganzen Weltraum erfüllt und so fein und elastisch ist, daß er alle Körper durchdringt. Die Schnelligkeit dieser Schwingungen ist eine unfaßbar große, aber ganz bestimmte, denn die Farben, die uns das Licht zeigt, werden bedingt durch eine veränderte Anzahl von Schwingungen, die auch einen veränderten Reiz auf den Sehnerv ausüben. Nicht anders unterscheiden sich die (dunklen) Wärmestrahlen durch eine etwas geringere Anzahl der Schwingungen. Diese Theorie erklärt ohne weiteres, wie Wärme in Schall (durch Verminderung der Schwingungen), wie Wärme in Licht (durch Steigerung der Schwingungen) umwandelbar ist. Eine scharfe Grenze zwischen Wärme- und Lichtstrahlen existiert nicht; derselbe Strahl kann in unserem Auge die Empfindung des roten Lichtes hervorrufen, auf die Hand fallend, die Empfindung von Wärme verursachen.

Experimentell läßt sich die Umwandlung von Wärme in Licht ohne weiteres nachweisen, sie erfolgt oberhalb gewisser Temperaturstufen. Erhitzen wir einen festen, nicht brennbaren Körper, so erglüht er

dunkelrot	bei	600°— 700° C,
hellrot	„	1000°—1100° C,
weiß	„	1300° C und darüber.

Je stärker der Körper erhitzt wird, in umso lebhaftere Schwingungen geraten seine kleinsten Teilchen, die Schwingungen teilen sich dem Äther mit und pflanzen sich nach allen Richtungen strahlenförmig fort, um wenn sie unsern Körper treffen, zunächst das Wärmegefühl, bei weiter gesteigerter Schwingungszahl erst die milde Empfindung des Dunkelrot zu erregen, das in immer helleren Glanz übergeht, bis schließlich der übergroße Reiz der grellen Weißglut das Auge blendet.

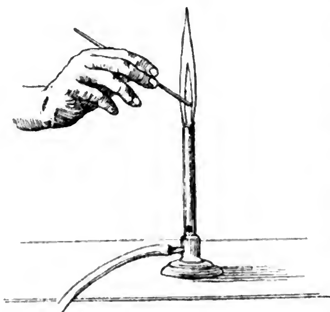


Fig. 91. Der glühende Platindraht erscheint als ein leuchtender Punkt in der Flamme.

Die Umwandlung von Wärme in Licht ist von großer technischer Bedeutung, es beruht darauf die Incandescenz- oder Glühlicht-Beleuchtung. Ich halte in die nichtleuchtende Flamme des Bunsen-Brenners einen Platindraht, und er erscheint als ein weißglühender Punkt (Fig. 91). Es lag nahe, hiervon zu Beleuchtungszwecken Gebrauch zu machen und zu versuchen, recht viele solcher glühenden Punkte neben- und übereinander in der Flamme hervorzubringen. Es läßt sich dies leicht erreichen, wenn man ein feinmaschiges Drahtnetz cylinderförmig zusammenbiegt und dem Umfang der Flamme anpaßt (Fig. 92). In der That hat man dieses Prinzip praktisch verwertet und eine Zeit lang (bis 1865) die Stadt Narbonne auf diese Weise beleuchtet. Aber das Platin ist zu kostbar für diesen Zweck. Man suchte daher nach einem Ersatz, indem man sich das Drummondsche Kalklicht (S. 88) zum

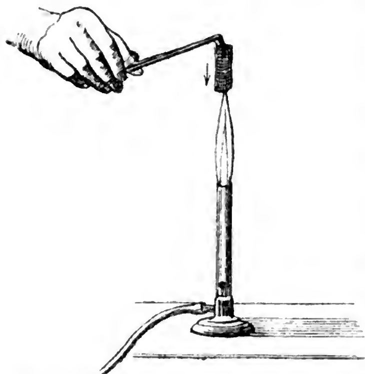


Fig. 92. Die Flamme wird durch ein glühendes Platindrahtnetz leuchtend.

Vorbild nahm. Tessié du Motay erhitzte kleine Cylinder aus Talkerde (Magnesia) oder Zirkonerde mit einer Knallgasflamme und erreichte hierbei eine so große Lichtwirkung, daß man sich 1871 entschloß, diese Beleuchtungsart auf dem Bahnhof der Kaiserin-Elisabeth-Bahn in Wien einzuführen. Später gab man den Leuchtkörpern die Form eines Kammes. Alle diese Versuche hatten jedoch nur einen geringen praktischen Wert, erst als Auer von Welsbach im Jahre 1885 mit seiner Erfindung hervortrat, war das Problem gelöst, wenn es auch noch einiger Jahre bedurfte, um den neuen Glühkörpern ihre heutige Vollkommenheit zu geben, in der sie sich im Fluge das ganze Gebiet der Gasbeleuchtung eroberten.

Auer benutzte zur Herstellung der Glühkörper verschiedene seltene Erden nacheinander und nebeneinander; am besten hat sich Thorerde mit einem geringen Zusatz von Ceroxyd (1 bis $1\frac{1}{2}$ Proz.) bewährt. Ungemein sinnreich und dabei zugleich sehr einfach ist die Anfertigung der Glühkörper. Man löst die Thorerde mit dem gewünschten Zusatz von Ceroxyd in Salpetersäure auf und erhält dabei eine klare Lösung, die „Leuchtflüssigkeit", mit welcher ein äußerst feines Gewebe aus Baumwolle getränkt wird. Das Gewebe hat eine Fadenstärke von 0,2 Millimeter und die Form eines oben geschlossenen Schlauches. Nach dem Trocknen zeigt es äußerlich die ursprüngliche Beschaffenheit; erhitzt man es, nachdem es in geeigneter Weise an einem Stativ aufgehängt ist, mit einer Flamme (Fig. 93), so verbrennen die Baumwollfäden. Die aus der Leuchtflüssigkeit aufgenommenen, unverbrennlichen Erden bleiben als Asche zurück in Form eines Skeletts des verbrannten Gewebes. Beim Abbrennen schrumpft der Glühkörper etwas zusammen und nimmt eine glockenförmige Gestalt an, die sich dem Umfange der Flamme des Bunsen-Brenners genau anschmiegt. Das äußerst zarte Gefüge des Glühkörpers läßt sich leicht mit den Fingern zu einem kleinen Häuflein Asche zerreiben und diese leichte Zerstörbarkeit ist der einzige Nachteil, welchen die Glühkörper haben. Jedoch ist es mit der Zeit gelungen, sie immer widerstandsfähiger zu machen, so daß sie 800 Brennstunden und noch mehr überdauern. Nach dem Abbrennen wiegt ein Glühkörper 0,68 g, dabei beträgt seine Oberfläche 54 qcm, von denen 45 qcm als Glühfläche leuchten! Die kleine Masse von großer Oberfläche gelangt im heißesten Teil der

Bunsen-Flamme (1500° C) zur Weißglut. Die Abnahme der Leuchtkraft mit der Zeit ist darauf zurückzuführen, daß durch das dauernde Erhitzen der Glühkörper verkleinert und somit die strahlende Oberfläche verringert wird.



Fig. 93. Abbrennen eines Glühkörpers.

Daß die Lichtentwickelung mit einem Verbrauch von Wärme verknüpft ist, läßt sich leicht nachweisen, wenn man über ein Glühlicht ein Gefäß mit Wasser stellt und die Zeit ermittelt, welche nötig ist, um das Wasser ins Kochen zu bringen. Wiederholt man den Versuch, nachdem der Glühkörper aus der Flamme entfernt, ohne daß sonst etwas an derselben geändert ist, so wird man finden, daß jetzt das Wasser in viel kürzerer Zeit ins Kochen kommt, d. h. dem Wasser mehr Wärme zugeführt wird, als vordem. Überall da, wo man an Stelle von Leuchtgasflammen Glühlicht eingeführt hat, empfindet man die geringere Wärmeentwickelung angenehm, insbesondere in Gesellschaftsräumen, Konzertsälen u. s. w., in denen früher die Gasflammen eine oft unerträgliche Hitze verbreiteten.

Ausschlaggebend für den raschen Erfolg des Gasglühlichtes war der Umstand, daß es die billigste Beleuchtungsart unter Verwendung von Leuchtgas ist.

Das geht ohne weiteres aus folgender Zusammenstellung, die zugleich auf die Wärmeentwickelung Rücksicht nimmt, hervor.

Lichtstärke, Preis und Wärmeentwickelung bei verschiedenen Verwendungsarten des Leuchtgases (nach Wedding):

	Lichtstärke	Verbrauch für 1 Kerzenstunde	Preis für für die Brennstunde	Wärmeentwickelung für 1 Kerze
Schnittbrenner	30 Kerzen	13,3 l Gas	6,4 Pfge.	66 Kalorien,
Argandbrenner	20 „	10,0 l „	3,2 „	50 „
Intensivbrenner (Wenham-Lampe)	111 „	3,3 l „	6,5 „	18 „
Auers Glühlicht	50 „	2,0 l „	1,6 „	10 „

Nachdem man die Vorzüge des Gasglühlichtes erkannt hatte, bemühte man sich, auch die Spiritus- und Petroleumflamme für Glühlichtbeleuchtung umzugestalten. Ohne weiteres eignen sich diese Flammen hierzu nicht, die Spiritusflamme ist nicht heiß genug, die Petroleumflamme muß erst entleuchtet werden. Man hat Brenner konstruiert, in denen durch ein Hilfsflämmchen oder durch glühend werdende Metallteile das von dem Docht aufgesaugte Brennmaterial zunächst in Dampfform verwandelt wird und dann den Dämpfen sich Luft zumischt, wie beim Bunsen-Brenner, so daß eine nicht leuchtende sehr heiße Flamme entsteht. In diesen Flammen strahlen Glühkörper ein ebenso schönes helles, weißes Licht aus, wie in der Gasflamme und wo man über Leuchtgas nicht verfügt, findet das Spiritus- und Petroleum-Glühlicht als willkommener Ersatz immer mehr Verbreitung.

Weißes und farbiges Licht. Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. (Spektralanalyse.) Die Fraunhoferschen Linien vermitteln den Nachweis irdischer Grundstoffe auf der Sonne. (Helium.)

Bringt man anstatt feuerbeständiger Körper andere unverbrennliche Körper, welche in der Hitze, wenn auch nur spurweise verdampfen, in eine nichtleuchtende Flamme, so ist die Erscheinung eine ganz andere. Die Flamme färbt sich je nach der Natur des Körpers gelb, rot, grün, blau, oft in wunderschöner Farbenreinheit. Ein bekanntes Beispiel hierfür liefern die bunten bengalischen Flammen, an deren farbenprächtigem Glanz wir wohl alle uns schon einmal erfreut haben.

Wenn ich jetzt den Versuch, den wir so oft schon anstellten, noch einmal wiederhole und einen Platindraht in die Flamme des Bunsen-Brenners halte, so geschieht es, um Ihre Aufmerksamkeit darauf zu lenken, daß der Platindraht die Flamme in keiner Weise verändert. Er selbst erglüht zwar, aber unterhalb und oberhalb des leuchtenden Punktes hat die Flamme ihre ursprüngliche, nichtleuchtende Beschaffenheit behalten. Ich nehme den Draht aus der Flamme, lasse ihn erkalten, berühre das ausgeglühte Ende mit den Fingern und

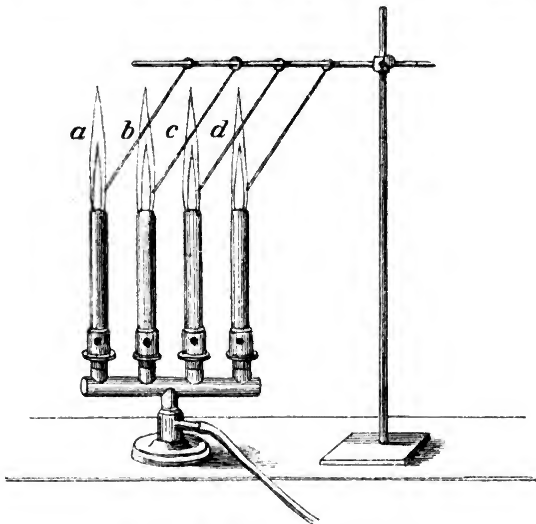


Fig. 94. Verschieden gefärbte Flammen.
a gelb (Natrium), *b* violett (Kalium), *c* rot (Calcium), *d* grün (Baryum).

bringe es von neuem in die Flamme. Jetzt ist die Erscheinung eine andere. Oberhalb des glühenden Drahtes sehen wir die Flamme gelb gefärbt, allerdings nur für wenige Augenblicke — aber so oft wir den Versuch wiederholen, tritt immer wieder die Gelbfärbung auf. Der Versuch zeigt also, daß beim Berühren des Platindrahtes mit den Fingern etwas an demselben haften geblieben ist, was die Flamme gelb färbt, und wenn wir weiter nachforschen, so erfahren wir, daß in dem

Schweiß, den die Haut dauernd absondert, von dem eine Spur an dem Platindraht haften blieb, immer ein geringer Bruchteil des Kochsalzes enthalten ist, welches wir täglich mit den Speisen dem Körper zuführen. Das Kochsalz enthält Natrium, und das Natrium ist es, welches in allen seinen Verbindungen die beobachtete Eigenschaft besitzt.

Um Ihnen verschiedene gefärbte Flammen vorzuführen, habe ich an dem Stativ (Fig. 94) vier Platindrähte befestigt, an deren Enden sich kleine Mengen verschiedenartiger Körper befinden. Rücke ich die Drähte in das Bereich der Flammen, so sehen wir sie, jede anders, in schönen Farben leuchten. Einige Elemente haben in sehr ausgeprägtem Maße die Eigenschaft, der Flamme eine bestimmte Färbung zu verleihen. So färbt die Flamme z. B.

gelb	Natrium
violett	Kalium
grün	Baryum
rot	Calcium

u. s. w.

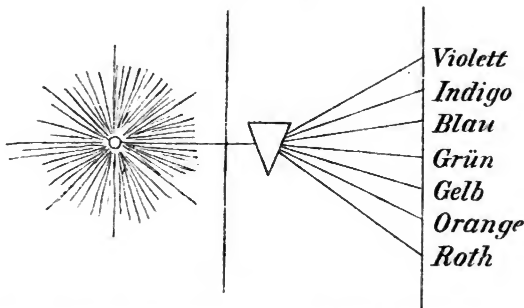


Fig. 95. Der von einer weißen Lichtquelle (Sonne, Kerzenflamme u. s. w.) ausgehende Lichtstrahl wird durch das Prisma zerlegt und erzeugt auf einer Wand einen in den sieben Regenbogenfarben erglänzenden Streifen (Spektrum).

Wenn das weiße Licht einer leuchtenden Flamme durch ein Glasprisma fällt, so wird es bekanntlich in die sieben Regenbogenfarben zerlegt, dieselben erblicken Sie auch, wenn Sie durch das Spektroskop, welches ich weiter zu geben bitte, wie durch ein Fernrohr, nach einer der leuchtenden Flammen hier

im Saale sehen. Äußerlich einer Messingröhre gleichend, enthält das Spektroskop im Innern eine Reihe von Prismen, so angeordnet, daß das zerlegte Licht in der Richtung des einfallenden Lichtstrahls wieder austritt.

Nehmen wir den Versuch in einem dunklen Zimmer vor, in welches das Licht nur durch einen engen Spalt auf das Prisma fällt und stellen wir hinter demselben einen weißen Schirm auf — wenn Sie durch das Spektroskop sehen, tritt Ihr Auge an Stelle des Schirmes — dann erglänzt der bunte, alle Farben von Violett, Dunkel- und Hellblau, Grün, Gelb, Orange bis zum Rot wiederspiegelnde Lichtstreifen in seiner vollen Schönheit (Fig. 95); man bezeichnet ihn mit Spektrum. Diese wunderbare Erscheinung lehrt, daß das weiße Licht kein einheitliches Ganzes ist, sondern aus vielen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, die sich beim Durchgang durch ein Prisma, ihren verschiedenen Schwingungen entsprechend, in bestimmter Reihenfolge wieder voneinander sondern.

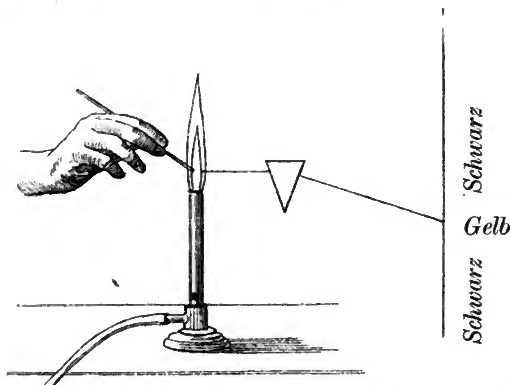


Fig. 96. Der von der gelben Natriumflamme ausgehende Lichtstrahl wird durch das Prisma abgelenkt (gebrochen) und erzeugt eine gelbe Linie auf schwarzem Grunde.

Ganz anders aber ist das Bild, wenn wir eine unserer gefärbten Flammen durch das Prisma betrachten, da beobachten wir nicht die kontinuierliche Farbenfolge, sondern nur einige wenige scharf begrenzte farbige Linien — ein „diskontinuierliches" Spektrum.

Die Natriumflamme zeigt nur eine gelbe Linie auf dunklem Grunde und zwar an einer ganz bestimmten Stelle, da, wo im kontinuierlichen Spektrum der gelbe Streifen liegt (Fig. 96), die Kaliumflamme eine rote und dunkelblaue Linie, die Baryumflamme eine Anzahl roter, gelber und grüner Linien u. s. f. Diese Linien treten immer an ganz bestimmten Stellen des Spektrums auf und nur dann, wenn die genannten Elemente oder Verbindungen derselben verdampfen. Solche Spektren liefern alle Körper im Gas- oder Dampfzustand, und der Hitze des elektrischen Flammenbogens widersteht kaum etwas, da kommen auch die Spektren des Eisens, des Silbers, des Platins zum Vorschein.

Jedem Elemente sind ganz bestimmte Linien im Spektrum eigentümlich, es läßt sich daher aus der Beobachtung des Spektrums eines Körpers ein Schluß auf die in ihm enthaltenen Grundstoffe ziehen, d. h. seine Zusammensetzung ermitteln. Bunsen und Kirchhoff waren es, welche vor mehr als 30 Jahren zuerst diese Beobachtungen machten und damit die Spektralanalyse

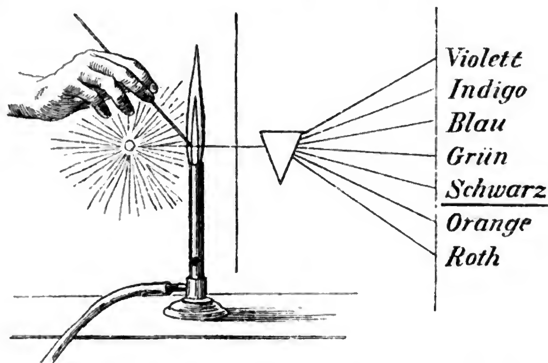


Fig. 97. Das gelbe Licht der Natriumflamme verschluckt die gelben Strahlen der weißen Lichtquelle.

begründeten. Dabei entdeckten sie, indem sie die mit keinem Spektrum der bekannten Elemente zusammenfallenden Linien verfolgten, neue Grundstoffe (Cäsium, Rubidium).

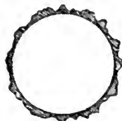
Im weiteren Verlauf ihrer klassischen Untersuchungen stellten die genannten Forscher folgendes fest. Wenn man zwischen

die weiße Lichtquelle, von der ein Strahl auf das Prisma fällt, eine durch Natrium gelb gefärbte Flamme bringt, so verschluckt die Flamme die gelben Strahlen des weißen Lichtes. Es gelangen also diese Strahlen nicht auf den Schirm oder in unser Auge und diese Lichtlücke erscheint als schwarze Linie, genau an der Stelle, an welcher im Natriumspektrum die gelbe Linie auftritt (Fig. 97).

Wenn man das Sonnenspektrum genügend vergrößert, so kommen in den farbigen Streifen eine große Anzahl schwarzer Linien zum Vorschein. Eine dieser Linien fällt genau mit der Natriumlinie zusammen. Eine Erklärung der schon von Fraunhofer beobachteten schwarzen Linien des Sonnenspektrums, die nur dieses aufweist, von denen die Spektren irdischer weißer Lichtquellen (Kerzenflamme u. s. w.) frei sind, konnte nicht gegeben werden, bis Bunsen und Kirchhoff ihre wunderbaren Entdeckungen machten, sie knüpften an dieselbe folgende Schlüsse:

Der glühende Sonnenkern ist von einer flammenden Hülle (Photosphäre) umgeben. Das Licht des Sonnenkerns durchdringt diese Gashülle. Hierbei wird das Licht genau an der Stelle, an welcher die Natriumlinie auftritt, verschluckt — folglich enthält die Photosphäre Natrium in Dampfform.

Aus anderen schwarzen Linien im Sonnenspektrum ergiebt sich genau in derselben Weise das Vorhandensein von: Wasserstoff, Baryum, Calcium, Eisen, Zink, Kupfer und vielen anderen Elementen auf der Sonne.


Fig. 98. Sonne mit der Photosphäre.

Wenn bei einer totalen Sonnenfinsternis der Mondschatten den Sonnenkern verdeckt, dann läßt sich die über denselben hinausragende Photosphäre ungetrübt untersuchen (Fig. 98). Ihr Spektrum ist, wie das aller glühenden Gase und Dämpfe, diskontinuierlich und besteht aus vielen farbigen Linien. Lockyer beobachtete im Jahre 1868, daß einige derselben sich nicht mit den Spektren der bekannten irdischen Grundstoffe deckten und schrieb ihre Entstehung einem unbekannten, nur auf der Sonne vorhandenen Grundstoff, den er Helium nannte, zu. Ist es nicht als ein bewunderungswerter Erfolg wissenschaftlicher Forschung zu betrachten, daß dieses Element, dessen Existenz auf der Sonne schon lange erkannt war, vor wenigen Jahren (1895) auch auf unserer Erde aufgefunden wurde?

VIII. Die langsame Verbrennung.

Das Rosten des Eisens ist eine langsame Verbrennung. Ozon, eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs. (Molekel und Atom.) Übergang einer langsamen Verbrennung in eine Verbrennung mit Feuererscheinung. Irrlichter, Selbstverbrennung bei lebendigem Leibe. Zusammensetzung des menschlichen Körpers und die Nahrungsmittel. Kohlensäure, ein Produkt des Stoffwechsels. Beschaffenheit der ausgeatmeten Luft. Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Die Aristotelische Naturanschauung und die exakte Experimentalforschung.

Das Rosten des Eisens ist eine langsame Verbrennung.

Wir wollen heute noch einen Blick auf diejenigen Vorgänge werfen, die mit „langsamer Verbrennung" bezeichnet worden sind.

Feuer und Flamme sind Erscheinungen, die man im gewöhnlichen Leben für unzertrennlich mit jeder Verbrennung hält. Wir jedoch haben Verbrennung definiert als: chemische Vereinigung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff.

Auf viele Körper wirkt der Sauerstoff auch ohne Feuererscheinung, dann allerdings nur ganz allmählich ein. So ist das Rosten des Eisens nichts anderes, als eine Vereinigung des Eisens mit Sauerstoff, das Vermodern des Holzes nichts anderes als eine Vereinigung der Bestandteile des Holzes mit dem Sauerstoff der Luft. Die Wärme, die hierbei entsteht, wird nicht wahrnehmbar, weil sie sich verliert im Laufe der Zeiten, welche diese Vorgänge erfordern. Derartige Einwirkungen des Sauerstoffs auf brennbare Körper, welche sich ohne Feuererscheinung ganz allmählich und langsam vollziehen, hat man zum Unterschiede von der Verbrennung mit Feuer und Flamme langsame Verbrennung genannt. Bei der langsamen Verbrennung des Eisens, beim Rosten, entsteht schließlich im wesentlichen nichts anderes, als was auch entsteht, wenn Eisen unter Funkensprühen verbrennt: Sauerstoffverbindungen des Eisens.

Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs
(Molekel und Atom).

Wir wissen aus einer unserer früheren Zusammenkünfte, daß die Luft draußen im Freien, wenn auch nur in äußerst geringer Menge, einen gasförmigen Körper enthält, den wir Ozon nannten. Ozon ist aber im chemischen Sinne nichts anderes als Sauerstoff, in ganz ähnlicher Weise, wie der Diamant nichts anderes als Kohlenstoff ist. Die physikalischen Eigenschaften dieser Körper sind verschieden, die chemische Natur ist dieselbe.

Den verschiedenen Zustand, in welchem uns ein und dasselbe Element entgegentritt, bezeichnet man mit „allotrope Modifikation". Der Diamant ist also eine allotrope Modifikation des Kohlenstoffs. Das Ozon eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs.

Ozon entsteht aus dem Sauerstoff der Luft bei dunklen elektrischen Entladungen, bei dem unsichtbaren Ausgleich verschiedener elektrischer Spannungen, wie er in der Natur vielfach vor sich geht. Man ist auf das Ozon zuerst durch den Geruch aufmerksam geworden, wie er sich in Räumen verbreitet, in welchen längere Zeit mit einer Elektrisiermaschine gearbeitet wird. Dieser eigentümliche, durchdringende Geruch — den Sie bemerken, wenn Sie an den Fläschen, die ich herumgebe, riechen — war Veranlassung für den Namen (von ὄζων [ozon, griech.] = riechend).

Zur Gewinnung des Ozon benutzt man einen Apparat *O* (Fig. 99), der im wesentlichen aus zwei ungleich weiten, konzentrisch ineinander gesteckten Glasröhren besteht. Die innere Röhre ist an dem einen Ende geschlossen, an dem anderen trichterförmig, bis zum Durchmesser der äußeren Röhre erweitert und mit dieser fest verschmolzen. Die Ansatzstücke *d* und *e* ermöglichen es durch den zwischen den beiden Röhren verbleibenden Raum Sauerstoff aus dem Gasbehälter *S* zu leiten. Die äußere Röhre ist auf der Außenseite, die innere auf der Innenseite mit Staniol, einem guten Leiter des elektrischen Stromes, belegt. Fügt man den Apparat in einen Stromkreis ein, so gleicht sich die Spannung von dem einen Staniolbelag zu dem andern durch die Glaswandungen und die zwischen denselben befindliche Sauerstoffschicht hindurch aus

(dunkle Entladung), und hierbei findet die Umwandlung des Sauerstoffs in Ozon statt. Da Wechselströme von großer Spannung erforderlich sind, habe ich den Induktionsapparat *J* eingeschaltet, und durch die Leitungsdrähte *a*" und *b*" und die Klemmschrauben *a*' und *b*' mit den Federn *a* und *b*, die sich dem äußeren und inneren Staniolbelag anschmiegen, in Verbindung gebracht. Mit Hilfe des Glashahns *c* reguliere ich den Sauerstoffstrom so, daß er sich nur ganz langsam durch den Apparat bewegt. Durch *e* tritt er mit Ozon beladen wieder aus; der Weg, der ihm vorgeschrieben ist, führt ihn unter die Glasglocke *G*. Um die Wirkung des Ozons beobachten zu

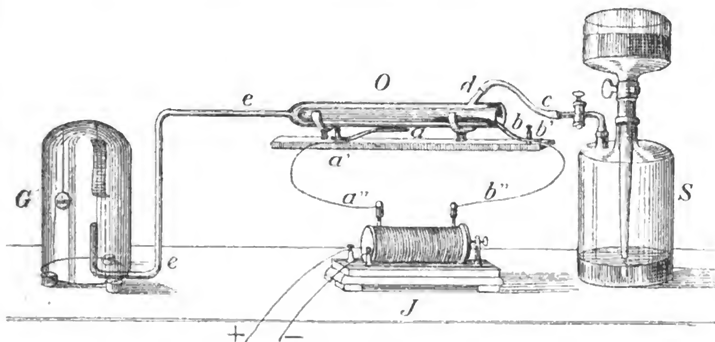


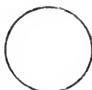
Fig. 99. Ozonapparat.

können, habe ich unter derselben einen blaugefärbten Zeugstreifen und eine blanke Silbermünze aufgehängt und wir werden sehr bald sehen, wie die Münze sich mit einer dunklen Oxydschicht überzieht, und wie das Zeug weiß gebleicht wird. Man benutzt Ozon in der Industrie zum Bleichen von Leinwand, Stärke u. s. w. Die äußerst energisch oxydierende Wirkung des Ozons äußert sich auch auf Riechstoffe aller Art, sowie auf jene unendlich kleinen Lebewesen, die Bakterien; sie werden durch das Ozon zerstört und vernichtet. Dabei zerfällt das Ozon selbst in Sauerstoff. Die Spuren Ozon, welche in der Luft draußen im Freien entstehen, verschwinden daher fast ebenso schnell wieder, denn sie finden in den mannigfaltigen organischen Körpern, welche die Natur beleben, Angriffspunkte im Übermaße.

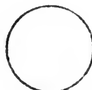
Die Rückverwandlung des Ozons in Sauerstoff erfolgt auch durch Hitze. Wenn ich die Röhre *e* (Fig. 99) mit einer Flamme erwärme, findet der Zerfall statt, und gewöhnlicher Sauerstoff verläßt alsdann die Röhre.

Es ist bisher noch nicht gelungen, den Sauerstoff vollständig in Ozon überzuführen, also ganz reines Ozon herzustellen. Man hat aber aus der teilweisen Umwandlung berechnet, daß aus drei Litern Sauerstoff zwei Liter Ozon entstehen. Da 1 l Sauerstoff 1,43 g wiegt, muß somit 1 l Ozon $\frac{3}{2} \times 1{,}43 = 2{,}145$ g wiegen.

Verbildlichen wir uns dies in der Art, daß wir uns durch Kreise immer 1 l vorstellen, also



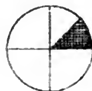
1 l Sauerstoff = 1,43 g



1 l Ozon = 2,145 g

und denken wir uns dieses Liter fortgesetzt geteilt, bis an die Grenze der Teilbarkeit,





so ergiebt sich für:

$\frac{1}{2}$ l Sauerstoff $= \frac{1{,}43}{2}$ g — $\frac{1}{2}$ l Ozon $= \frac{2{,}145}{2}$

$\frac{1}{4}$ l " $= \frac{1{,}43}{4}$ g — $\frac{1}{4}$ l " $= \frac{2{,}145}{4}$

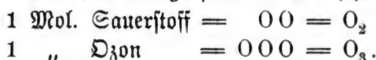
. . . . — . . . .

$\frac{1}{n}$ l " $= \frac{1{,}43}{n}$ g — $\frac{1}{n}$ l " $= \frac{2{,}145}{n}$.

Das denkbar kleinste Massenteilchen, zu dem man durch fortgesetzte Teilung eines Körpers gelangt, ist von den Physikern Molekel (von moleculum [lateinisch] = Massenteilchen) genannt worden. Unsere Betrachtungen haben also ergeben, daß 1 Mol. Sauerstoff $\frac{1{,}43}{n}$ g, 1 Mol. Ozon $\frac{2{,}145}{n}$ g wiegt, es ist also das Verhältnis von:

1 Mol. Sauerstoff : 1 Mol. Ozon $= \frac{1,43}{n} : \frac{2,145}{n}$
$= 1 : 1,5$
$= 32 : 48$
$= 2 \times 16 : 3 \times 16.$

Mit dem chemischen Zeichen O denken wir uns immer eine bestimmte Menge, 16 Gewichtseinheiten, Sauerstoff verknüpft, wir können daher den Unterschied zwischen Sauerstoff und Ozon zum Ausdruck bringen, indem wir schreiben für



1 Mol. Sauerstoff = O O = O_2
1 „ Ozon = O O O = O_3.

Hieraus ergiebt sich, daß das kleinste Massenteilchen der Physiker einer weiteren Teilung fähig sein muß. Diese letzten Teile, in welche der Chemiker das Molekel zerlegt, heißen Atome. Es besteht somit ein Molekel Sauerstoff aus 2 Atomen und ein Molekel Ozon aus 3 Atomen Sauerstoff.

Übergang einer langsamen Verbrennung in eine Verbrennung mit Feuererscheinung. Irrlichter. Selbstverbrennung bei lebendigem Leibe.

Vorgänge, die wir mit langsamer Verbrennung bezeichnen, vollziehen sich in umfangreicher und mannigfacher Weise auch auf Kosten des gewöhnlichen Sauerstoffs. So erleidet z. B. der Phosphor eine solche langsame Verbrennung, sobald wir ihn an die Luft bringen. In einem ganz dunklen Raume verrät sich die langsame Verbrennung des Phosphors durch sein Leuchten, und von diesem Leuchten im Dunklen hat der Phosphor bekanntlich seinen Namen erhalten.

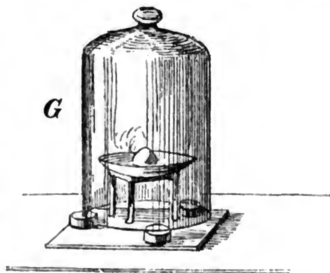


Fig. 100.
Langsame Verbrennung von Phospor.

Hier in dem hellen Raume können wir wenn ich ein Stück Phosphor unter die Glasglocke (Fig. 100) lege, das schwache Leuchten nicht wahrnehmen, aber wir sehen weiße Nebel aufsteigen, die nichts anderes sind, als das

Verbrennungsprodukt des Phosphors. Der Phosphor besitzt, wie wir wissen, eine sehr niedrige Entzündungstemperatur. Unter Umständen kann sich die bei der langsamen Verbrennung des Phosphors frei werdende Wärme so weit steigern, daß die Entzündungstemperatur (60° C) erreicht wird und der Phosphor plötzlich mit heller Flamme zu brennen anfängt. Wir wollen uns diesen Vorgang vergegenwärtigen.

Ich habe hier eine Lösung von Phosphor (in Schwefelkohlenstoff), von der ich einige Tropfen auf verschiedene Stellen des Papierstreifens (Fig. 101) fallen lasse. Das Lösungsmittel hat die Eigenschaft, rasch zu verdampfen. Der Phosphor bleibt äußerst fein verteilt zurück, der Sauerstoff der Luft wirkt auf ihn ein; die bei dieser langsamen Verbrennung freiwerdende Wärme steigert sich, und der Phosphor flammt plötzlich auf. Wie wir sehen, verbrennt der Phosphor so schnell, daß das Papier sich nicht entzündet, sondern nur da verkohlt, wo der Phosphor lag. Dieser Versuch führt uns den Übergang einer langsamen Verbrennung in eine rasche, von einer Feuererscheinung begleitete sehr schön vor Augen. Derartige Erscheinungen von Selbstentzündungen lassen sich künstlich herbeiführen, ereignen sich wohl auch bisweilen, wo leicht entzündliche Stoffe (mit Öl getränkte Putzlappen, Steinkohlen, Heu) in dichten Massen lagern, in der Natur aber sind sie nicht möglich. Hier hat der Sauerstoff der Luft im Wandel der Zeiten seinen Einfluß schon ausgeübt. Wohl vermag der Blitzstrahl den Baum zu zerschmettern und das dürre Holz zu entzünden — aber hüpfende und tanzende Flämmchen, die den Wanderer irre führen, giebt es nicht. Die Irrlichter gehören in das Reich der Fabel.

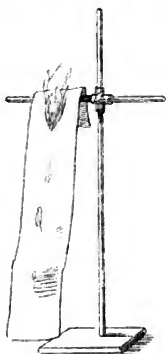


Fig. 101. Übergang einer langsamen Verbrennung in eine rasche, von einer Flamme begleitete Verbrennung.

Ebenso wenig ist eine spontane Verbrennung des menschlichen Körpers, eine Selbstverbrennung bei lebendigem Leibe möglich. Den ersten Fall der Selbstverbrennung eines Menschen will man zwar im Jahre 1725 beobachtet haben, und seit dieser Zeit sollen 40—50 derartige Fälle vorgekommen

sein — einer der letzten beschäftigte die Kriminaljustiz in Darmstadt im Jahre 1850. Aber jeder einzelne Fall, wie gut er auch verbürgt scheint, beweist nichts anders, als die völlige Unbekanntschaft mit den einfachsten chemischen Dingen. Der menschliche Körper, der 70 Proz. Wasser enthält, kann sich ebenso wenig von selbst entzünden, wie ein nasser Schwamm. Freilich sollen es besonders Branntwein-Trinker gewesen sein, welche plötzlich ohne äußere Ursache das Schicksal ereilte zu verbrennen, deren Körper man von diesem leicht entzündlichen Stoff vollständig durchdrungen glaubte, aber — wenn wir einen Pudding mit Rum übergießen und den Rum anzünden, so verbrennt der Pudding nicht mit, sondern die Flamme verlischt, wenn der Rum verbrannt ist. (Liebig.)

Zusammensetzung des menschlichen Körpers und der Nahrungsmittel. Kohlensäure ist ein Produkt des Stoffwechsels. Beschaffenheit der ausgeatmeten Luft.

Der menschliche Körper besteht etwa zu 70 Proz. aus Wasser. Unterwirft man den Rest, die festen Bestandteile, den analytischen Operationen, welche zur Feststellung der Elemente führen, so ergiebt sich, daß in dem Tierkörper Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und so weit er unverbrennlich ist auch: Kalium, Natrium, Calcium, Eisen, Chlor und Spuren von Silicium und Fluor enthalten sind. Alle Gebilde des tierischen und menschlichen Körpers, das Blut, das Fleisch, das Fett, die Knochen u. s. w. sind aus diesen wenigen Elementen aufgebaut. Aus dieser Thatsache läßt sich ohne weiteres schließen, daß die Art und Weise, in welcher die Atome dieser Elemente miteinander verbunden sind, um jene Gesamtheit der Gebilde hervorzubringen, die den Lebensprozeß bedingen, eine außerordentlich mannigfache sein muß.

Die elementaren Bestandteile, die in unserem Körper sich vorfinden, müssen naturgemäß auch in den Nahrungsmitteln enthalten sein, die wir dem Körper zuführen. Einige derselben, insbesondere Kohlenstoff und Wasserstoff, sind in allen organischen Gebilden vorhanden.

Der Kohlenstoff ist nicht nur im Holz und in den daraus entstandenen Steinkohlen enthalten, sondern auch in den

Blättern und Blüten, in den Samen und Früchten der Pflanzen, in den Pflanzensäften und den daraus gewonnenen Produkten, z. B. auch in dem aus dem Rübensaft gewonnenen Zucker, wenn er auch von weißer Farbe ist, das läßt sich sehr leicht durch einen Versuch nachweisen. In dem Glase, das vor mir steht, befinden sich 50 g Zucker, gelöst in 30 g Wasser. Zucker enthält außer Kohlenstoff nur noch die Elemente des Wassers, die wir auf chemischem Wege dem Zucker entziehen können, wenn wir konzentrierte Schwefelsäure (100 g) zur Lösung gießen. (Der Versuch wird ausgeführt.) Es bleibt dann von dem Zucker nur der Kohlenstoff übrig und da sehen Sie ihn in der gewohnten schwarzen Farbe aus dem Glase hervorquellen (Fig. 102).

Mit den Nahrungsmitteln, mit Fleisch und Brot, mit Milch und Bier nehmen wir eine Reihe verschiedener kohlenstoffhaltiger Verbindungen auf welche zur Ernährung und Erhaltung unseres Körpers notwendig sind. Die Nahrungsmittel erfahren in unserem Körper eine Reihe der mannigfachsten Umwandlungen, die vorzugsweise bedingt werden durch die chemischen Wirkungen des Sauerstoffs, welchen wir unausgesetzt mit der Luft einatmen. Ein sehr beträchtlicher Teil der Endprodukte dieser Umwandlungen, des Stoffwechsels, in unserem Körper ist gasförmig und wird mit der ausgeatmeten Luft wieder ausgeschieden.

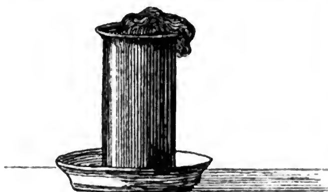


Fig. 102. Abscheidung von Kohlenstoff aus einer Zuckerlösung.

Ich will etwas Luft, statt sie frei auszuatmen, in einen mit Wasser gefüllten Cylinder blasen (Fig. 103). Untersuchen wir die Luft, die sich jetzt in dem Cylinder befindet, indem wir sie mit Kalkwasser schütteln, so sehen wir, wie stark sich das Kalkwasser trübt, so daß es fast weiß erscheint, während draußen im Freien entnommene Luft unter diesen Umständen nur eine ganz geringe, aus der Ferne kaum wahrnehmbare Trübung erleidet. Die ausgeatmete Luft ist also an Kohlensäure viel reicher und (wie anderweitige Versuche gelehrt haben) an Sauerstoff ärmer, als die reine atmosphärische Luft. Diese enthält in 10 000 Raumteilen 3 Teile Kohlensäure, die aus-

geatmete dagegen 400—500 Raumteile Kohlensäure, also etwa 150 mal mehr Kohlensäure.

Ein erwachsener Mensch atmet täglich etwa 2 Pfund Kohlensäure, bei angestrengter Arbeit $2\frac{1}{2}$ Pfund aus. Der in dieser Kohlensäuremenge enthaltene Kohlenstoff wird dem Körper mit den Nahrungsmitteln zugeführt.

Aus unseren letzten Betrachtungen geht es klar hervor, daß die Luft in einem geschlossenen Raume, in welchem sich dauernd eine größere Anzahl von Menschen aufhalten, in ihrer Zusammensetzung dauernd geändert wird, wenn nicht zweckmäßige Ventilationseinrichtungen für die Zuführung frischer und für die Abführung der verbrauchten Luft sorgen. Reine

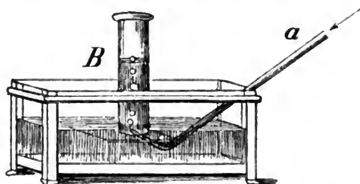


Fig. 103. Aufsammeln von ausgeatmeter Luft in einem Glascylinder.

Luft atmen wir ein, unreine aus. Es ist nicht allein die Kohlensäure, die wir ausatmen, mit ihr zugleich sammeln sich in bewohnten Räumen andere flüchtige Respirationsprodukte an, welche schädlich auf den menschlichen Organismus wirken. Der Menge nach überwiegt jedoch die Kohlensäure bei weitem, ihre Menge läßt sich leicht ermitteln, es bietet uns die Kenntnis des Kohlensäuregehaltes daher einen leicht zugänglichen Maßstab zur Beurteilung der Güte der Luft eines bewohnten Raumes. Man bedient sich daher allgemein der Ermittelung des Kohlensäuregehaltes in der Luft bewohnter Räume zur Beurteilung ihrer Güte. Gute Luft soll (nach Pettenkofer) in 10000 Raumteilen nicht mehr als 10 Raumteile Kohlensäure enthalten. In ungenügend ventilierten Räumen, die von Menschen überfüllt sind, verändert sich die Luft, indem der Sauerstoff ab-, die Kohlensäure zunimmt, allmählich derart, daß sie den Lebensvorgang nicht mehr zu unterhalten vermag. Hierfür hat uns leider die Geschichte schreckliche Bilder verzeichnet.

So schildert uns Macaulay, wie bei der Eroberung von Kalkutta (1756) der unmenschliche Nabob von Bengalen, Seratscha Daula, 146 Engländer in ein Gefängnis, die berüchtigte schwarze Höhle werfen ließ, welche nur 18 Fuß im Quadrat groß war und nur zwei kleine Fensteröffnungen, beide an derselben Seite hatte. Nach 4 Stunden waren fast alle die Unglücklichen, soweit sie noch lebten, betäubt; nach 6 Stunden waren schon 96 verschieden und am Morgen, als die Thür geöffnet wurde, fand man nur noch 23 am Leben, von denen aber mehrere nachträglich starben, andere wahnsinnig geworden waren, nur einige wenige, welche sich zu den Fenstern durchgekämpft hatten, kamen mit dem Leben davon. — So auch gingen von 300 österreichischen Gefangenen, welche nach der Schlacht bei Austerlitz von Franzosen in einem Zimmer eingesperrt waren, 260 in einer einzigen Nacht zu Grunde.

Ich könnte noch weitere, historisch verbürgte Beispiele, die sich auf Auswanderungsschiffen und an andern Orten zugetragen haben, hinzufügen, — doch genug davon.

Kreislauf der Kohlensäure in der Natur.

Zu der Kohlensäure, die wir ausatmen, kommt noch hinzu die Kohlensäure, welche das Feuer in unseren Öfen erzeugt, die durch die Schornsteine in die Luft entweicht; die Kohlensäure, welche unsere Kerzen-, Petroleum- und Gasflammen erzeugen; die Kohlensäuremengen, welche sich bei den mannigfachen Verwesungs- und Zersetzungsprozessen auf und in der Erde bilden. Faßt man dies alles zusammen, so liegt es nahe, der Vermutung Raum zu geben, daß mit der Zeit die Luft in ihrer Zusammensetzung sich ändern, allmählich an Kohlensäure reicher und an Sauerstoff ärmer werden müsse. Es ist aber bereits früher ausgesprochen und hervorgehoben worden, daß dies nicht der Fall ist (S. 40). Die atmosphärische Luft hat überall auf der Erde dieselbe Zusammensetzung und dieselbe Zusammensetzung gehabt, soweit unsere Kenntnis zurückreicht. Es muß somit eine Ursache geben, durch welche die Kohlensäureausscheidungen der Menschen, der Tierwelt, der mannigfachen Verbrennungsprozesse aller Art, wieder aus der Luft entfernt werden.

Die Zelle der Pflanze ist es, welche unter der Wirkung des Sonnenlichtes die Kohlensäure zerlegt. Den Sauer-

stoff giebt sie der Luft zurück, den Kohlenstoff verwendet sie zu dem Aufbau ihrer kunstvollen Gebilde. Die Pflanzen nehmen ihre Nahrung zum allergrößten Teil aus der Luft. Aus dem Boden, in dem sie wurzeln, stammt nur die geringe Menge Asche, die bei ihrer Verbrennung zurückbleibt. Aus der Kohlensäure entstehen vorzugsweise unsere Wälder und die Ernten unserer Felder. Und wenn bei uns Schnee und Eis die Erde bedecken, so grünen und blühen doch anderswo Blumen und Bäume und die Winde vermitteln den Ausgleich. Die Pflanzenwelt ist der mächtige Regulator für die gleichbleibende Zusammensetzung der Luft. Das ist der wunderbare Zusammenhang, welcher zwischen der Pflanzen- und Tierwelt herrscht.

Wir wollen nun, meine verehrten Zuhörer, zum Schluß noch einen flüchtigen Blick auf diejenigen Vorgänge werfen, welche sich fortdauernd in unserem Körper vollziehen, so weit sie in einer gewissen Beziehung stehen mit den von uns angestellten Betrachtungen. Wir atmen Luft ein, in den Lungen nimmt das Blut Sauerstoff auf, es führt ihn durch unsern ganzen Körper und mit Kohlensäure beladen strömt das Blut zu den Lungen zurück und scheidet hier die Kohlensäure wieder aus — ein Vorgang, der sich mit jedem Atemzuge wiederholt. In unserem Körper vereinigt sich der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff, den wir in der mannigfachsten Form in unsern Nahrungsmitteln aufnehmen. Die Vereinigung des Sauerstoffs mit Kohlenstoff ist eine Verbrennung und da sie sich ohne eine sichtbare Erscheinung vollzieht, nennen wir sie eine langsame Verbrennung. Diese langsame Verbrennung, welche sich unausgesetzt in unserem Körper abspielt, ist die Quelle der Körperwärme. Der Wärmeverlust, den unser Körper täglich erleidet, beträgt: 2500 Kalorien d. i. soviel Wärme, wie nötig ist 2500 kg Wasser um 1° C, oder 250 kg Wasser um 10° C u. s. w. zu erwärmen, und diese Wärmemenge muß durch die langsame Verbrennung, welche die Nahrungsmittel in unserem Körper erleiden, täglich wieder ersetzt werden.*)

Die Kohlensäure, die wir ausatmen, dient den Pflanzen als Nahrung. In unserem Körper findet ein Zerfall der Nahrungsmittel unter Entwickelung von Wärme, in den Pflanzen ein Wiederaufbau unter Verbrauch von Sonnenwärme statt.

*) Vergl. H. Buchner, Acht Vortr. a. d. Gesundheitspflege. S. 42.

Die Veränderungen, welche die Nahrungsmittel in unserem Körper erleiden, sind sehr komplizierter Art und nur bis zu einem gewissen Grade erforscht. Wie dem aber auch sei, die einzelnen Teile, in welche die Nahrungsmittel zerfallen, enthalten die Gesamtmenge aller Bausteine, aus denen das ursprüngliche Bauwerk aufgeführt war. Diese Bausteine oder Grundstoffe bleiben dieselben und sind ihrer Masse nach unzerstörbar. Nur ihr Zusammenhang, ihre Anordnung, die Art und Weise, in welcher sie uns entgegentreten, ändert sich. Das gleiche Spiel wiederholt sich überall und ewig in der Natur — aber nicht regellos, sondern nach bestimmten Gesetzen, welche zu erforschen Aufgabe der Chemie ist.

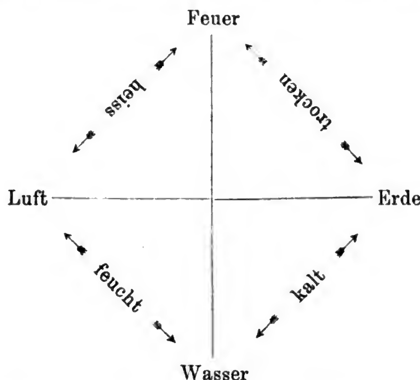
Die Sonnenstrahlen verlieren von ihrer Wärme und von ihrem Lichte, wenn sie in der Zelle der Pflanzen aus den Bestandteilen der Kohlensäure, des Wassers und der Erde Blätter, Blüten und Früchte zeitigen.

Zu dem unzerstörbaren Kraftvorrat in der Natur kommt täglich in den Strahlen der Sonne ein Überschuß hinzu, welcher Leben und Bewegung erhält, und so stammt alles — alles, was wir Leben nennen, in der Pflanze, in den Tieren, in uns — von weiter her — von der Sonne. (Liebig.)

Und hiermit, meine verehrten Zuhörer, wollen wir unsere Betrachtungen schließen. Das Ziel, welches mir vorschwebte, war, Ihnen eine Erklärung derjenigen Erscheinungen und Vorgänge zu geben, die sich mit dem Begriff „Verbrennung" verknüpfen lassen. Alle Erörterungen und alle Versuche, die wir anstellten, waren gerichtet auf dieses Ziel. Und wenn wir hierbei auch dann und wann einen Schritt abseits vom geraden Wege machten, so geschah es, um das Gebiet zu rekognoszieren, oder eine Erkenntnis, die uns aus nächster Nähe verlockend entgegenwinkte, in uns aufzunehmen. Immer aber waren unsere Blicke darauf gerichtet, ein Gesamtbild aller hierhergehörigen Erscheinungen, auch von denjenigen, die wir mit unvollständiger und mit langsamer Verbrennung bezeichnen, zu erhalten. Und — wie uns reife Früchte, kaum berührt, in den Schoß fallen, so zogen wir in den letzten Minuten mühelos Schlüsse, die uns einen tiefen Einblick gestatten in das wunderbare Walten der Natur.

Die Aristotelische Naturanschauung und die exakte Experimentalforschung.

Im 4. Jahrh. v. Chr. lebte in Griechenland ein Philosoph, dessen Ruhm weit über sein Heimatland, weit über seine Zeit hinausdrang, der heute noch unvergessen ist, den man den „Vater der Naturgeschichte" genannt hat, Aristoteles. Ihm erschien das Feuer als eine elementare Naturkraft, gerade so, wie das Wasser. Feuer, Wasser, Luft, Erde waren seine vier Elemente, unter denen er gewisse, allgemeine Zustände der Körper verstand. Jedes dieser Elemente vereinigte in sich zwei der vier Grundeigenschaften der Materie: trocken, feucht, heiß und kalt. Wie durch Übergang einer dieser Eigenschaften in die entgegengesetzte die Umwandlung der Aristotelischen Elemente ineinander sich vollzieht, ergiebt sich ohne weiteres aus der schematischen Anordnung.



Das Wasser ist feucht und kalt, es repräsentiert den Zustand des Flüssigen, der in den dampfförmigen (Luft) übergeht, wenn es heiß wird, oder in den festen (Erde), wenn es trocken wird (da bleiben die im Wasser gelösten erdigen Bestandteile zurück, vergl. Seite 48); u. s. w.

Diese Anschauungsweise genügte nicht allein den Bedürfnissen seiner Zeit, sondern erschien so richtig und einwandsfrei, daß sie 2000 Jahre Gültigkeit behielt, bis Rob. Boyle in der Mitte des 17. Jahrh., auf Versuche sich stützend, den Begriff „Element" schuf, wie wir ihn jetzt auffassen.

Ist unsere heutige Ansicht die richtige, die kaum zwei Jahrhunderte besteht, während jene ebenso viele Jahrtausende Gültigkeit hatte und sich doch als falsch erwies? Oder giebt es nicht vielleicht nur eine Urmaterie, die uns in den einzelnen Elementen in verschiedenen Gestaltungen entgegentritt?! Hierauf giebt es — wenn wir uns treu bleiben wollen in der Betrachtungsweise, die wir von Anbeginn unserer Unterhaltungen festsetzten, nur eine Antwort: Fort mit jeder Spekulation, die sich nicht auf erwiesene Thatsachen stützt!

Wohl versuchten nochmals im ersten Viertel unseres Jahrhunderts die „Naturphilosophen" sich breit zu machen und ein Lehrgebäude zu errichten, doch es fiel angesichts der sich immer mächtiger entwickelnden Naturforschung in sich zusammen wie ein Kartenhaus.

Die induktive, exakte Naturforschung von heute stützt sich auf das Experiment, das ist ihr Grundpfeiler. Sie hält diejenige Theorie für die beste, welche allen thatsächlichen Verhältnissen Rechnung trägt. Und so lange die Richtigkeit ihrer Versuche nicht durch Thatsachen widerlegt ist, weist sie alle spekulativen Einwände zurück. Für sie existiert kein Glaube an Autoritäten, sie baut sich auf, indem sie Versuche an Versuche, Beobachtungen an Beobachtungen reiht.

Berichtigung.

Seite 2, Figur 2 lies: Chemischer Vorgang, statt Physikalischer Vorgang.

Die Grundstoffe oder Elemente,
ihre Zeichen und Atomgewichte.

Name	Zeichen	Atomgewicht	Name	Zeichen	Atomgewicht
Aluminium	Al	26,9	Nickel	Ni	58,4
Antimon	Sb	119,5	Niobium	Nb	93,3
Argon	Ar	39,7	Osmium	Os	189,6
Arsen	As	74,5	Palladium	Pd	105,6
Baryum	Ba	136,4	Phosphor	P	30,8
Beryllium	Be	9,0	Platin	Pt	193,4
Blei	Pb	205,4	Praseodym	Pr	142,4
Bor	B	10,9	Quecksilber	Hg	198,5
Brom	Br	79,3	Rhodium	Rh	102,2
Cadmium	Cd	111,1	Rubidium	Rb	84,8
Cäsium	Cs	131,9	Ruthenium	Ru	100,9
Calcium	Ca	39,8	Samarium	Sa	148,9
Cer	Ce	139,1	Sauerstoff	O	15,9
Chlor	Cl	35,2	Scandium	Sc	43,7
Chrom	Cr	51,7	Schwefel	S	31,8
Eisen	Fe	55,6	Selen	Se	78,4
Erbium	Er	165,0	Silber	Ag	107,1
Fluor	F	18,9	Silicium	Si	28,2
Gadolinium	Gd	154,9	Stickstoff	N	13,9
Gallium	Ga	68,5	Strontium	Sr	87,0
Germanium	Ge	71,7	Tantal	Ta	181,2
Gold	Au	195,7	Tellur	T	127,0
Helium	He	4,0	Terbium	Tb	158,8
Indium	In	112,8	Thallium	Tl	202,8
Iridium	Ir	191,7	Thorium	Th	230,9
Jod	J	125,9	Thulium	Tu	169,4
Kalium	K	38,8	Titan	Ti	47,8
Kobalt	Co	59,1	Uran	U	237,8
Kohlenstoff	C	11,9	Vanadin	V	51,0
Kupfer	Cu	63,1	Wasserstoff	H	1,0
Lanthan	La	137,6	Wismut	Bi	206,5
Lithium	Li	7,0	Wolfram	W	182,7
Magnesium	Mg	24,2	Ytterbium	Yb	171,7
Mangan	Mn	54,6	Yttrium	Y	88,3
Molybdän	Mo	95,3	Zink	Zn	64,9
Natrium	Na	22,9	Zinn	Sn	118,3
Neodym	Ne	129,4	Zirkonium	Zr	89,9



